

REDUCCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO EN SECCIÓN PINTURA DE REVISIÓN FINAL (VOLKSWAGEN NAVARRA)



Grado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Trabajo Fin de Grado

Daniel Latorre Barriuso

Vicente Senosiain Miquelez

Pamplona, Junio 2016

23 de junio de 2016

Índice de Memoria

1.	Características del Proyecto.....	4
1.1	Palabras clave.....	4
1.2	Objeto del proyecto	4
1.3	Promotor	4
2.	Descripción de la empresa	5
2.1	Ubicación	5
2.2	Configuración de la empresa.....	6
2.2.1	Prensas	6
2.2.2	Chapistería.....	8
2.2.3	Pintura	9
2.2.4	Motores	10
2.2.5	Montaje	12
2.2.6	Revisión final (sección de trabajo del proyecto).....	13
3	Descripción de funcionamiento de las líneas del proyecto.....	15
3.1	Esquema de la sección	15
3.2	L1: Línea de grandes reparaciones	15
3.3	L2: Línea de pequeñas reparaciones.....	17
3.4	Lsp: Línea de Sport-Repair	18
4	Conceptos y definiciones iniciales:	19
4.1	Variadores	19
4.1.1	Diagrama de bloques básico de un variador:	19
4.1.2	Ventajas variador:	20
4.1.3	Desventajas variador:	21
4.1.4	Utilidad/objetivos para un variador:.....	22
4.2	Intercambiadores de calor	31
4.2.1	Tres grandes familias de intercambiadores:	31
4.2.2	Otros elementos importantes en los recuperadores:	33
4.3	Humidificadores	35
4.3.1	Definición: humedad relativa (HR).....	35
4.3.2	Efectos conocidos del aire seco sobre los materiales:	36
4.4	Iluminaciones Led	37
4.5	Velocidad del aire de los ventiladores	39

23 de junio de 2016

5	Descripción de puntos localizados de posibles ahorros.....	43
6	Ahorro mediante modificaciones en el consumo de Gas.....	44
6.1	Pérdidas en el consumo de Gas	44
6.1.1	Funcionamiento de quemadores de gas en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos: Ubicado en L1.	44
6.1.2	Humidificación del aire.....	45
6.2	Mejoras en el consumo de Gas.....	47
6.2.1	Sustitución de combustible para quemadores actual (Gas Natural), por biocombustible.	47
6.2.2	Utilización de un intercambiador de calor entre el aire extraído del horno y el resto de líneas.....	49
6.2.3	Desplazamiento de horario de trabajo Mañana→ Tarde	52
7	Ahorro mediante modificaciones en el consumo eléctrico	53
7.1	Pérdidas en el consumo Eléctrico.....	53
	Funcionamiento de ventiladores en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos: Ubicado en L1.....	53
7.2	Mejoras en el consumo Eléctrico.....	55
7.2.1	Utilización de variadores para reducción de consumo en periodos de descanso .55	
7.2.2	Utilización de variadores para reducción de consumo en periodos de trabajo57	
7.2.3	Optimización del enfriamiento de vehículos a la salida del horno mediante variador 58	
7.2.4	Sustitución de iluminación actual por luminarias de menor consumo (Led).....60	
8	Resumen y amortizaciones	62
9	Cálculos.....	64
9.1	Consideraciones comunes a todos los cálculos:	64
9.2	Funcionamiento de quemadores de gas/ventiladores en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos: Ubicado en L1.....	67
9.3	Humidificación del aire.....	68
9.4	Desplazamiento de horario de trabajo de Mañana a Tarde	71
9.5	Sustitución de combustible para quemadores actuales (Gas Natural), por biocombustible.....	74
9.6	Intercambiadores de calor	75
9.6.1	Calculo de utilización de Gas Natural mediante dispersión	77
9.6.2	Calculo de utilización de Gas mediante ecuaciones teóricas de comportamiento de aire 82	
9.6.3	Conclusión metodología de predicción de consumo de gas en función de la temperatura	83

23 de junio de 2016

9.6.4	Modificación de la temperatura mediante el intercambiador	84
9.6.5	Diferencia de m ³ /h de Gas utilizado mediante intercambiador	87
9.6.6	Otras opciones de uso:	87
9.7	Utilización de Variadores.....	89
9.7.1	Calentamiento de los variadores.	89
9.7.2	Reducción de potencia con la velocidad del aire de ventilación.....	92
9.7.3	Reducción de consumo en periodos de descanso.....	93
9.7.4	Reducción de consumo en periodos de trabajo.....	96
9.7.5	Reducción de potencia en la refrigeración de la salida del horno.....	98
9.8	Iluminación	102
10	Bibliografía	108
11	Índices de Imágenes, Graficas y Tablas.....	110
	Índice de Imágenes.....	110
	Índice de Tablas.....	111
	Índice de Graficas	112
12	Anexos.....	113
12.1	Datos básicos.....	113
12.2	Funcionamiento de quemadores de gas/ventiladores en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos: Ubicado en L1.....	113
12.3	Humidificación del aire.....	113
12.4	Desplazamiento de horario de trabajo Mañana → Tarde.....	114
12.5	Intercambiadores de calor	114
12.6	Utilización de Variadores para reducción de consumo en periodos de Descanso/trabajo.....	114
12.7	Reducción de la potencia en la refrigeración de salida del horno.	114

23 de junio de 2016

1. Características del Proyecto

1.1 Palabras clave

- Volkswagen
- Cabina de pintura
- Ahorro energético
- Intercambiadores de calor
- Variadores de frecuencia
- Iluminación Led

1.2 Objeto del proyecto

El propósito del presente proyecto es el de **hallar y evaluar métodos viables para el ahorro energético** en la zona de reparación de pintura de revisión final de Volkswagen Navarra y cuyo periodo de **amortización deberá ser igual o inferior a tres años**.

Además el **precio de los principales consumos energéticos** con el que se realizaran los cálculos deberá ser:

- Consumo eléctrico: 0,08475 €/Kwh
- Consumo de gas natural: 0,0352 €/Kwh

Mediante este proyecto **se describirán y justificarán los métodos a realizar** para la mejora energética de la sección.

1.3 Promotor

El **promotor** del presente proyecto es Juan Miguel Ariz Martinez en representación de la empresa Volkswagen Navarra situada en el Polígono Industrial de Landaben, en Pamplona (Navarra).

23 de junio de 2016

2. Descripción de la empresa

La empresa Volkswagen Navarra se dedica a la **producción de vehículos de la marca Volkswagen** concretamente vehículos Polo, el cual se lleva produciendo de manera ininterrumpida, desde 1984.

Volkswagen Navarra es una de las 119 fábricas que el Grupo Volkswagen tiene en todo el mundo, está situada en el Polígono Industrial de Landaben, en Pamplona (Navarra). El Grupo Volkswagen es líder europeo en el mercado de la automoción y el segundo fabricante a escala mundial. El Grupo está integrado por doce marcas: Volkswagen, Seat, Audi, Skoda, Bentley, Bugatti, Lamborghini, Porsche, Ducati, Volkswagen Vehículos Comerciales, MAN y Scania.



Imagen: 1 Logotipo marca Volkswagen

2.1 Ubicación



Imagen: 2 Ubicación de Volkswagen Navarra en Polígono Industrial de Landaben, Pamplona (Navarra).

Las instalaciones de la fábrica abarcan un espacio de 1.630.199 metros cuadrados el equivalente a 221 campos de fútbol y cuenta con 4500 trabajadores.

23 de junio de 2016

2.2 Configuración de la empresa

Para facilitar la comprensión de la finalidad de la sección de revisión final, se hará una breve explicación de las etapas en la construcción de un vehículo realizadas en Volkswagen Navarra, que seguirá el siguiente **diagrama de flujo**, empezando en prensas hasta acabar en revisión final.

El **proceso de producción de montaje** de los vehículos se realiza siguiendo el siguiente esquema.

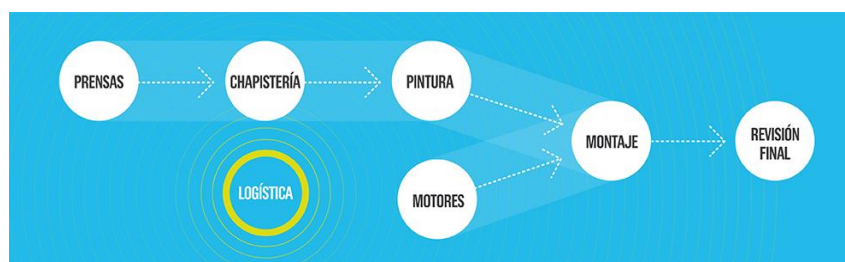


Imagen: 3 Diagrama de flujo de los vehículos en Volkswagen Navarra

A continuación se detallarán brevemente las secciones en las que se forman los vehículos de forma cronológica y lo que se realiza en ellas para facilitar una información general.

2.2.1 Prensas



Imagen: 4 Zona de prensas de Volkswagen Navarra

1. Introducción

La **materia prima** en este punto del proceso son los desarrollos de chapas suministrados por un proveedor externo llegan a la fábrica ya cortadas y colocadas en palés específicos, que contienen entre 400 y 500 unidades cada uno. Esta nave cuenta en la actualidad con tres prensas:

- Dos prensas GT de 38.000 kilonewton (KN) de fuerza de prensado cada una
- La prensa ERFURT, de 81.000 KN.

23 de junio de 2016

2. Colocación de troqueles

El **proceso de estampación** comienza con la colocación de los troqueles en las prensas. El **troquel** es la herramienta más importante del taller, ya que se encarga de embutir, cortar, punzonar y conformar los desarrollos de chapas hasta configurar la pieza final. Por lo tanto, el mantenimiento y la puesta a punto de esta herramienta son de vital importancia. Para ello son necesarios, el lavadero de matrices, la fresadora-copiadora, el torno o el horno para tratamientos térmicos. Dependiendo de la pieza que se quiera obtener se colocara un troquel, u otro.

3. Alimentación

Una vez colocados los troqueles en las prensas **se abastece de chapas**. Dado que son pesadas y difíciles de manejar por los operarios aun manejando maquinaria, el **proceso se ha automatizado** por medio de unos imanes que recogen las láminas. Antes de la estampación en la prensa, la materia prima deberá estar totalmente limpia, la utilización de imanes favorece esta necesidad.

4. Sistema de transferencia

Cada una de las tres prensas de este taller (mencionas anteriormente) cuenta con un sistema de transferencia, denominado **"transfer"**, encargado de recoger la chapa, moverla entre las diferentes estaciones de trabajo y depositar la pieza ya terminada en la cinta de salida.

5. Salida a Chapistería

Una vez terminadas las piezas se cargan en los contenedores específicos a través de una cinta de salida abastecida por el "transfer". Un operario **revisa el producto** al final de la línea, según unas pautas de control establecidas. Los recortes sobrantes en el proceso de los desarrollos de chapa caen a unas tolvas y se transportan hasta un contenedor para reciclarse, lo que reduce el coste inicial de la materia prima.

23 de junio de 2016

2.2.2 Chapistería



Imagen: 5 Zona de chapistería de Volkswagen Navarra

1. Introducción

En el taller de Chapistería tiene lugar la **unión de las diferentes piezas** procedentes de Prensas y de otros proveedores externos para formar la carrocería del vehículo. La actividad de este taller se caracteriza por su **alto grado de automatización**, más de 600 robots se encargan de realizar aproximadamente el 95% del trabajo.

2. Autobastidor

El conjunto autobastidor del Polo es de **estructura auto-portante**. El chasis, por tanto, está integrado en la carrocería. El proceso comienza formando el “autobastidor I”, que consta de piso anterior y posterior, túnel y largueros. Posteriormente, se le añade el faldón, pasó de ruedas y salpicadero, que forman el denominado “autobastidor II”. En el larguero se coloca una placa con un código de barras que identifica esta carrocería, especifica sus características y determina su posición en el proceso de fabricación.

3. Mascarón

Al “autobastidor II” se le **colocan los laterales**, que han sido previamente producidos en otras instalaciones, y se inicia así la fabricación del denominado conjunto "mascarón".

4. Soldadura láser del techo

Al "autobastidor II", con los laterales ya montados, se le **colocan las cimbras del techo**, para pasar, a continuación, a una estación de geometría con siete robots. Posteriormente, **se coloca el techo** y se realiza la **unión mediante soldadura láser** con aportación de material. Este conjunto se denomina “mascarón”.

5. Línea de elementos móviles

El último proceso para completar la carrocería es la **colocación de las diferentes partes móviles**, como las puertas, el capó o el portón. Además, **se añaden las “aletas”**. Este proceso se realiza mediante manipuladores de geometría con equilibrado automático, con la línea en movimiento y sobre bandas de acompañamiento.

23 de junio de 2016

6. Línea "finish"

Una vez montados todos los elementos móviles, la carrocería atraviesa la denominada línea "finish", donde se controla la superficie, se realizan los **últimos ajustes**, y se efectúa un último control de calidad, antes de que la carrocería salga hacia el taller de Pintura.

2.2.3 Pintura



Imagen: 6 Zona de pintura de Volkswagen Navarra

1. Pretratamiento

El proceso comienza con un **pretratamiento TTS** de la carrocería que consiste en un lavado de alta presión y varios tratamientos químicos, con el objetivo de eliminar de la chapa todo tipo de grasas, limaduras etc. Generalmente originadas en los talleres de Prensas y Chapistería. Estos tratamientos transforman la superficie de la carrocería, hasta el momento irregular, conductor de electricidad y susceptible de corrosión, en una superficie uniforme, no conductora y muy resistente a la corrosión.

2. Cataforesis

En el baño de cataforesis (KTL) tiene lugar un **proceso de electroforesis** en el que el baño de pintura es sometido a tensión eléctrica. Este procedimiento se realiza con el fin de que la carrocería actúa de cátodo y atraiga partículas de pintura dissociada que se depositaran sobre ella creando una capa de pintura que actuara como principal recubrimiento frente a la corrosión.

3. Línea de masillas

Tras finalizar el proceso de KTL la carrocería cambia su sistema de transporte y pasa a un sistema denominado "skid" o patín. Una vez en la línea de masillas, la carrocería se deposita en un carro volteador. A continuación, varios **robots aplican las masillas** garantizando así la **estanqueidad** del coche mientras se rota el vehículo gracias al carro volteador. Finalmente, otros dos robots aplican el PVC en las taloneras.

23 de junio de 2016

4. Aplicación de la base

Tras finalizar el proceso de estanqueidad comienza el pintado de la carrocería. Primero **se aplica la base a los interiores** con ocho robots (previa apertura de puertas, capó y portón con manipuladores) otros cuatro robots aplican de forma electrostática una base de color con catalizador en los exteriores y en los colores metalizados, tres robots con dos pistolas cada uno se encargan de la aplicación aerográfica.

5. Aplicación del barniz

Tras la **revisión de la carrocería** por los retocadores y el secado del agua en un horno, se realiza la medición del espesor de la base con el “paintchecker” para asegurar la uniformidad de la pintura en el vehículo. Por último, **se le aplica el barniz 2K** (2 componentes) de forma similar a la base, y la carrocería se envía al **horno final de secado**.

6. Línea de control

El proceso finaliza en la línea de control, donde **se revisa visualmente** la superficie de la carrocería. Las carrocerías pintadas son ahora secuenciadas en un almacén intermedio y enviadas al taller de Montaje. Previamente, se colocará el “DVD” en el techo, una pieza estabilizadora y antivibratoria, y se realizará la aplicación de ceras en los bajos de la carrocería.

2.2.4 Motores



Imagen: 7 Zona de Motores de Volkswagen Navarra

1. Almacén secuenciador

En este taller se llevan a cabo de manera simultánea dos procesos:

- El montaje de las puertas
- El del conjunto motopropulsor.

El almacén secuenciador **distribuye los elementos** que se han de montar por lo que en cierta medida es el corazón de la sección.

23 de junio de 2016

2. Conjunto motopropulsor

La línea del conjunto motopropulsor se divide en otros tres subprocesos:

- La línea de montaje del conjunto mecánico ("Triebwerk")
- La línea de montaje del conjunto subchasis
- La línea final de montaje del conjunto motopropulsor ("Triebsatz")

2.1 Conjunto mecánico ("Triebwerk")

En la línea "Triebwerk" se realiza la **unión de la caja de cambios al motor**. Previamente se realiza el premontaje de las cajas de cambio con enclavamiento de los palieres y el llenado de aceite. Además, se realiza el montaje de piezas complementarias al motor, como el motor de arranque, tubos de refrigeración, etc.

2.1.1 Carro filo-guiado

El **suministro de las cajas de cambio secuenciadas** a la línea "Triebwerk" se realiza con carros filo-guiados, sin conductor.

2.1.2 Conjunto Subchasis

Paralelamente al montaje del conjunto mecánico se realiza el **montaje del conjunto subchasis**. Está formado por el subchasis, los brazos oscilantes, el conjunto de la dirección, la barra estabilizadora, los tirantes de la suspensión y el soporte pendular. En la fotografía, un trabajador monta el subchasis con la ayuda de un manipulador.

2.2 Robot de trasvase del conjunto subchasis

El **trasvase del conjunto subchasis** de la línea "Triebwerk" a la línea final "Triebsatz" se realiza por medio de un robot.

2.3. Línea "Triebsatz"

Una vez terminado el conjunto **subchasis y el conjunto mecánico se unen** en la línea final "Triebsatz". A lo largo de esta línea se incorporan los palieres del resto de cajas de cambio, la palanca de cambios, el tubo de escape anterior, el alternador, el compresor de aire acondicionado, los tubos de refrigeración y el conjunto de la suspensión delantera, entre otros, hasta formar el conjunto motopropulsor. Una vez finalizado se transporta al taller de Montaje, donde se unirá a la carrocería.

3. Línea de puertas

El proceso de **guarnecido de las puertas** comienza cuando llegan a este taller desde la nave de Montaje. Las puertas entran colocadas por parejas sobre un balancín mientras están inicialmente desnudas. Comienza, entonces, el vestido de las puertas con el montaje del burlete antipolvo, la manilla de apertura, la guía y el motor elevavinas, el cristal, los altavoces, la cerradura y el espejo exterior, entre otros, hasta completarla.

23 de junio de 2016

4. Prueba SIDIS

El proceso termina con la realización de la prueba denominada SIDIS, en la que se **comprueba que todos los elementos eléctricos** de la puerta funcionan adecuadamente. Una vez finalizada esta comprobación, las puertas se envían nuevamente al taller de Montaje.

2.2.5 Montaje



Imagen: 8 Zona de montaje de Volkswagen Navarra

Tramo 1

El proceso de montaje comienza con la **grabación del número de bastidor**. En este tramo se **desmontan las puertas** previamente montadas, estas son enviadas al taller de Motores. Los primeros elementos en incorporarse al vehículo son los burletes de la puerta y el portón, los cinturones posteriores y la centralita del airbag.

Tramo 2 (Fahrwerk)

En esta instalación **se une la carrocería y el conjunto motopropulsor** procedente del taller de Motores. La unión tiene lugar gracias a un elevador hidráulico que asciende con el conjunto mecánico para encajarlo en la carrocería con la ayuda de operarios.

Tramo 3

En este tramo **se incorpora el frontal del vehículo y se graban las llaves** del vehículo con un número aleatorio asignado por un sistema centralizado, este número es comunicado a la centralita principal del vehículo para que responda a dicha llave.

Tramo 4

Se realiza el **montaje de ruedas** de forma automática (se inauguró en el año 2015), en la que varios robots colocan a la vez las cuatro ruedas del vehículo. Esta instalación es altamente eficiente y se encuentra en muy pocas fábricas de automoción. A continuación, se realiza el **llenado de los circuitos de frenos, refrigeración y lavaparabrisas**.

23 de junio de 2016

Punto de control ZP6

El proceso continuo con el montaje de las butacas, el volante y las puertas, que se quitaron a la entrada del taller para ser completadas en la nave de Motores. El coche ahora ya montado llega al punto de control ZP6, donde se **revisan los funcionamientos eléctricos finales**, se realizan los ajustes de los elementos móviles y se **verifica el guarnecido final**. Con ello, el vehículo pasa al último de los talleres: Revisión Final.

2.2.6 Revisión final (sección de trabajo del proyecto)



Imagen: 9 Prueba de convergencia de Revisión Final

Consta de **5 pruebas** para cerciorarse de que el vehículo está preparado para ser entregado al cliente, dichas pruebas son **independientes entre sí**, pero se realizan en el mismo orden para evitar confusión o tráfico debido a un flujo de vehículos caótico ya que a partir de esta sección los vehículos se desplazan por la fábrica siendo tripulados por los trabajadores. Las revisiones son las siguientes:

1. Prueba de convergencia

En esta primera fase de Revisión Final se realiza el **ajuste de la geometría y el reglaje de los faros y neumáticos**, esta sección fue además renovada hace pocos años para facilitar, mediante elevadores, el trabajo de los operarios, lo que les permite introducirse debajo del vehículo sin necesidad de agacharse. También se inicia el proceso de “EOBD” (proceso "on-board" de comprobación electrónica).

2. Rodillos

En unas cabinas se realiza la prueba de rodaje donde **se comprueba el sistema de frenada y el cambio**, y se realiza una **inspección de funcionamiento del motor** lanzando una rutina

23 de junio de 2016

prestablecida en la centralita de motor, con el objetivo de comprobar que todos los sensores y actuadores del motor se comportan y miden correctamente.

3. Prueba de lluvia

En esta fase se comprueba la **estanqueidad de la carrocería** en una instalación que simula condiciones externas de lluvia a las que puede verse expuesta la carrocería, tras introducirse en lo que se podría denominar como un túnel de lavado extremo los operarios introducen medidores de humedad en las alfombrillas del interior del vehículo, en caso de encontrar más humedad de la debida significa que la estanqueidad del vehículo ha debido de fallar permitiendo la entrada de agua en el interior.

4. Pista de pruebas

Los vehículos realizan un recorrido por la pista de pruebas en la que, al pasar por los **diferentes tipos de superficies y desniveles**, se comprueba el correcto funcionamiento de los coches. Esta pista de pruebas está en el exterior del edificio por lo que se aprovecha para comprobar el funcionamiento de los cláxones.

5. Líneas ZP7 y ZP8

Previamente a la entrega final se realizan procesos de verificación en las líneas ZP7 y ZP8. La primera inspección se lleva a cabo en las tres líneas de ZP7, antes de la pista de pruebas, donde se **comprueba la humedad** mediante el método mencionado antes, además de cerciorarse del correcto estado de la pintura del vehículo, es decir si esta uniformemente repartida o si tiene algún desperfecto. La inspección final ZP8, se realiza tras la pista de pruebas y supone el fin del proceso productivo. El coche sale de la línea “vendido”, con destino a su cliente.

La sección a debatir en este proyecto es encargada de corregir los **defectos de pintura encontrados** en ZP7 y ZP8. Esta sección se divide en 3 líneas con funciones similares pero diferentes, estas se denominan L1 (línea de grandes reparaciones), L2 (línea de pequeñas reparaciones) L sport-repair (línea especial). A continuación se detallara la utilidad, las diferencias y el funcionamiento de cada una de forma individual.

23 de junio de 2016

3 Descripción de funcionamiento de las líneas del proyecto

3.1 Esquema de la sección

Adjunto en anexos el **Layaout** de las líneas que se detallaran a continuación.

3.2 L1: Línea de grandes reparaciones

Cuando se localiza un **desperfecto grande** en la pintura de un vehículo se transporta a esta línea para su reparación. El concepto “gran defecto” es subjetivo y depende de la experiencia de los trabajadores que se encargan de detectar el fallo.

Una vez se acerca el vehículo dañado a las líneas de reparaciones, los operarios adecuan el vehículo para su posterior repintado, esta adecuación consiste en **acotar la zona o zonas dañadas** cubriendo la parte no dañada con un plástico protector para no afectar a la zona en buen estado, esta técnica se realiza tras lijar la zona perjudicada de la carrocería para facilitar la deposición de la pintura, de no hacerlo así, la nueva pintura deslizaría sobre la vieja.

Los operarios encargados de la adecuación del vehículo son los mismos que se encargan de repintar ese mismo automóvil, de esta forma además ahorran tiempo en comprobar la ubicación del fallo.

Una vez se termina la preparación, se coloca el vehículo en una **cinta transportadora** que lo desplaza hacia el área de pintado, a una velocidad de 0,45m/segundos sin que los operarios tengan que moverse de sus sitios para proceder con su cometido, ya que es el propio coche el que se desplaza. El trabajo que hacen se resume en:

1. El trabajador escoge un vehículo dañado para su reparación.
2. Lo adecua mediante plastificación de la zona no dañada y raspado de la dañada.
3. Colocarlo en la cinta transportadora.
4. Cuando reaparece en la zona de pintura, repintarlo.
5. Secar la zona reparada del vehículo.
6. Sacarlo de la línea de reparación.

El método de pintado de L1 es mediante la utilización de **spray en cantidades mayores** que en la línea de pequeñas reparaciones, los operarios por lo tanto deben usar **equipo de protección** que consta de traje, gafas y mascarilla. La aplicación de la capa de pintura solo dura unos segundos, pero sería suficiente para causar una intoxicación si no se usasen estas medidas, el tamaño de la cabina de pintado es de 18x5.5x4 (largo x ancho x alto) aproximadamente.

Además de las protecciones que deben usar los operarios existen otras medidas estipuladas para la evacuación de la pintura y contaminantes que no se adhieren al vehículo y quedan retenidos en la cabina de pintura, los cuales se centran en la correcta ventilación de la estancia.

23 de junio de 2016

Para ello se crea un **flujo de aire vertical descendente** desde el techo hasta el suelo que renueva el aire de la cabina de modo que todas las partículas nocivas son removidas, no superen los valores permitidos y no acedan a las vías respiratorias u ojos de los operarios.

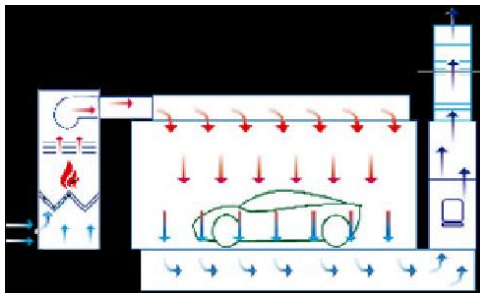


Imagen: 10 Funcionamiento de ventilación en cabina de pintura.

Además, la **velocidad media del aire** deberá de ser de 0,4 m/s según el estudio del “*Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones- Aplicación de pintura en carrocerías*” entre otros, y se deberá asegurar que no se generen turbulencias para garantizar que los restos de pintura sean evacuados. El aire que viene desde el techo es captado del exterior de la fábrica e impulsado mediante un ventilador (M1) cuyas características, y las del resto de ventiladores se adjuntan en *el capítulo 9.1*. Este aire impulsado pasa por un **filtro** para eliminar las principales impurezas, después por un **calentador de gas** (IN1) que eleva la temperatura del aire hasta la adecuada para trabajar, para posteriormente transitar por una **cámara de humectación** donde se humidifica en caso de que los niveles estén por debajo de los adecuados (y dado que calentar el aire mediante la combustión de gas reduce la humedad suele ser casi siempre), mediante unos chorros de agua a presión accionados por un motor (M3) que impactan contra las paredes de la cámara, lo que crea micro gotas que absorben el calor del aire recién salido del calentador, evaporándose y humidificando así el aire, esto es necesario para la correcta calidad térmica del ambiente definida en el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificio, aprobado por Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio).

Después, antes de que el aire pase a la cabina se lo hace circular por unos segundos **filtros o “plenum”** que eliminan las partículas más finas de polvo, para evitar que la suciedad se quede adherida a la pintura, lo que crearía huellas de suciedad.

Mientras, desde el suelo con rejilla se succiona el aire, ya contaminado con pintura usada para la reparación de la carrocería, mediante otros dos ventiladores (M2 y M2.1) que expulsaran dicho aire al exterior, no sin antes eliminar la mayoría de las impurezas mediante un **tanque de agua** que hay debajo de las rejillas, en circuito cerrado y activado mediante una bomba (M16). Este sistema capta la mayor parte de las partículas pintura, evitando así su vertido a la atmosfera. Aun contando con este sistema de captación se coloca otro filtro la salida de la ventilación para absorber los compuestos restantes mediante carbón activo.

Estos filtros se sustituyen aproximadamente cada tres años en el caso de L1 para evitar acumulaciones de suciedad que dificulten el funcionamiento de impulsión y expulsión de aire al crear una sobrepresión excesiva que generarían turbulencias en el interior, y que reducirían la capacidad de filtrado, haciendo que partículas pasen, lo que ensuciaría la pintura.

Para un buen trabajo de pintado los trabajadores deben disponer de un buen **flujo luminoso** de alrededor de 1000 lux (según estudio realizado por Centro-Zaragoza → Centro de Investigación

23 de junio de 2016

de vehículos) para ello hay 90 fluorescentes (MASTER TL-D Xtra Polar 58W/840 T12 SLV) distribuidos por la cabina.

Una vez pintados los vehículos se podría esperar a que se sequen a temperatura ambiente, pero debido al tiempo requerido, Volkswagen Navarra optó por instalar un **horno de secado** en el que se introducen los vehículos para acelerar el secado.

El horno funciona al igual que los calentadores del aire de cabina, con **Gas Natural**. Aire del exterior se coge y se quema (IN3) para subirle la temperatura hasta 80 grados centígrados y se expulsa al principio y al final de la parte caliente del horno, denominado ventilador de cortina (M6), mientras que dentro del horno existe un ventilador de recirculación (M4) que coge aire del horno, eleva su temperatura hasta los 100 grados centígrados mediante otro quemador de gas (IN2) y lo vuelve a expulsar dentro, de esta forma se ahorra parte gran parte del gas empleado en el calentamiento y solo hace falta una pequeña parte de gas para recalentarlo en vez de calentarlo completamente si se cogiese desde el exterior, el balance neto de flujo de la recirculación es cero, pero inicialmente no ocurre lo mismo con el aire impulsado por el ventilador de cortina, por lo que se dispone de otro ventilador, esta vez de extracción (M5). Este último ventilador expulsa el aire al exterior tras pasar por un filtro que evitara en mayor medida la contaminación ambiental.

Por ultimo como el vehículo se calienta a más de 100 C⁰ dentro del horno, se coloca un segundo ventilador de cortina (M7) y otro de extracción (M8), pero esta vez el aire de impulsión es aire a temperatura ambiente que **enfria el vehículo** permitiendo a los trabajadores introducirse en el para conducirlo hasta su siguiente fase.

3.3 L2: Línea de pequeñas reparaciones

Cuando se localiza un desperfecto en la pintura que se considera pequeño se traslada a esta línea para su reparación. El concepto “pequeño defecto” al igual que lo que ocurría con la línea de grandes reparaciones es subjetivo y depende de la experiencia de los trabajadores.

La adecuación del vehículo es similar al de la L1, los operarios cubren la parte no dañada circundante a la parte del vehículo que si lo está, en esta ocasión sin embargo la parte cubierta es mucho menor y en vez de un plástico protector se utiliza papel de plata. Se lija la parte dañada y se deposita el vehículo en la cinta transportadora que se desplaza a una velocidad de 0,77m/segundos a la espera de su turno. Al igual que antes, los operarios encargados de la adecuación del vehículo son los mismos que se encargan de repintarlo, ya que están más familiarizados con el problema del vehículo en cuestión al haberlo preparado anteriormente.

El método de pintado de L2 es mediante la utilización de spray, pero esta vez en **pequeñas cantidades**. Los operarios esta vez usan un equipo de **protección más básico** que consta solo de traje y gafas. La aplicación de la capa de pintura solo dura unos segundos pero algo más que en L1 ya que requiere un trabajo más fino. El tamaño total de L2 es de 40x5.5x4 (largo x ancho x alto) aproximadamente.

23 de junio de 2016

Al igual que antes se debe de crear mediante ventiladores un **flujo de aire vertical descendente** desde el techo hasta el suelo que renueva el aire de la cabina de modo que las partículas sean removidas y no superen los valores permitidos de contaminación, la velocidad media del aire seguirá siendo 0,4 m/s y al igual que en L1 se asegura que no se generan turbulencias.

El aire que viene desde el techo es captado del exterior de la fábrica e impulsado mediante otro ventilador (M10). Este aire impulsado pasa por otro **filtro** para eliminar las principales impurezas, después por un **calentador de gas** (IN4) para posteriormente hacerlo por la **cámara de humectación** (M11) tras lo cual lo hará por unos segundos filtros eliminando así las partículas de polvo restante, es decir, mismo procedimiento que en L1.

Mientras, desde el suelo con rejilla se succiona el aire, ya contaminado, esta vez mediante un único ventilador (M9) que expulsara el aire al exterior previamente filtrado con un filtro de carbón activo. Este filtro a diferencia de los de L1 se sustituyen cada año, la razón es que la línea de pequeñas reparaciones trabaja el triple que el de grandes reparaciones (L1 trabaja 8 horas, L2 trabaja 24h), además esta vez no habrá piscina de captación de partículas.

Los **fluorescentes** (al igual que en el resto de toda Revisión Final siguen siendo los mismos modelos que en L1 (MASTER TL-D Xtra Polar 58W/840 T12 SLV), pero esta vez cuanta con 296 tubos en total.

Tras el pintado, como la cantidad de pintura es claramente menor que en L1, no es necesario el introducirlos en un Horno, es suficiente con utilizar **focos caloríficos** (IR7 Hyperion 1Kw) durante el resto del trayecto (durante aproximadamente media hora) hasta que salen de L2 para completar el secado.

3.4 Lsp: Línea de Sport-Repair

Esta línea a diferencia de L1 o L2 **no se asemeja a una línea de montaje** donde los coches llegaban mediante un cinta transportadora, si no que se parece más a una cabina de un taller. Aquí dirigen los vehículos con peculiaridades que los hacen diferentes al resto y por lo tanto no pueden ir a las líneas 1 o 2. Estos son por ejemplo aquellos que van a ir a una exposición o a algún cliente especial y necesitan estar en condiciones más “finas” que otros automóviles, aunque también se usa esta cabina para pintar objetos ajenos a la automoción como por ejemplo; taquillas. Tiene un tamaño de 6x7.5x4 (largo x ancho x alto) aproximadamente, más un área donde se dejan los vehículos de 180 m², un total de 126 tubos fluorescentes. El parecido de la cabina respecto a las otras dos líneas reside en la ventilación y aclimatación ya que utiliza el mismo sistema, un **ventilador de impulsión** (M12) con un filtro, un **quemador de gas** (IN5) y una cámara de **humectación** (accionada por M15) posterior y un **ventilador de extracción** (M13).

23 de junio de 2016

4 Conceptos y definiciones iniciales:

En el proyecto se mencionaran en múltiples ocasiones ciertos aparatos empleados en la mejora y el ahorro de la instalación. Para evitar confusiones se detallaran y explicaran a continuación las máquinas que se han considerado más relevantes en el proyecto.

4.1 Variadores

Los **variadores de frecuencia** se tratan de dispositivos electrónicos que permiten un control completo de motores eléctricos de inducción, los hay de variación de tensión (c.c) y de variación de frecuencia (c.a), los más usados don los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobina (jaula de ardilla). También se les suele denominar **inversores o variadores de velocidad**.

Algunas de las **características** de los variadores son:

- Acometida de corriente alterna monofásica en aparatos pequeños de hasta 1,5 Kw y trifásica para motores de más potencia, capaces de alcanzar 630 Kw o más.
- Sus entradas y salidas pueden ser **digitales tipo todo o nada o analógicas** mediante tensión e intensidad.
- Esta clase de dispositivo puede integrarse en redes industriales por lo que **suelen incluir puesto de comunicaciones**.
- La conexión al motor es generalmente de **tres hilos** (u-v-w) pudiendo ser conexión directa en triángulo o estrella según la tensión del motor.

4.1.1 Diagrama de bloques básico de un variador:

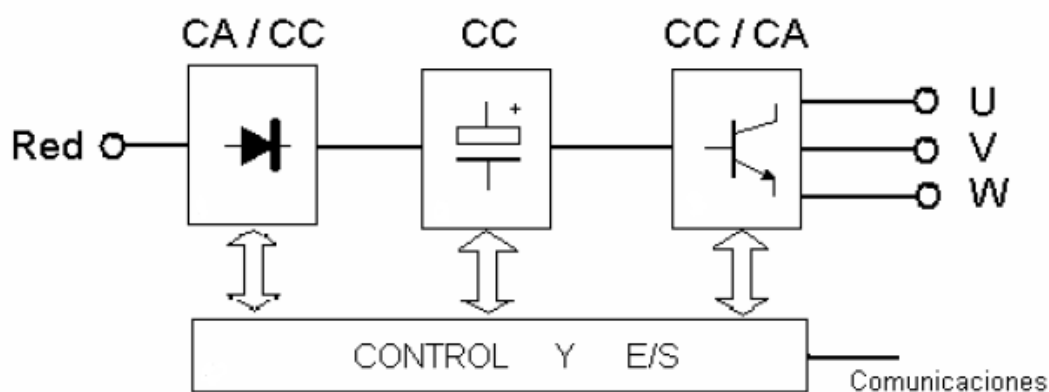


Imagen: 11 Diagrama de bloques básico de un variador

23 de junio de 2016

0^o etapa- **Control y E/S** – circuitos de control de los diferentes bloques del variador citados a continuación, regulación, protección y entradas y salidas (analógicas y/o digitales). Se incluye además en esta etapa la interfaz de comunicación con buses u otros dispositivos de control y usuario.

1^o etapa- **Rectificador** –Partiendo de una Red de suministro en alterna, monofásica o trifásica, se obtiene corriente continua mediante diodos rectificadores.

2^o etapa- **Bus de continua** – Son condensadores de gran capacidad, a veces también bobinas que almacenan y filtran la corriente continua para una salida de tensión continua estable.

3^o etapa- **Etapa de salida** – Desde la etapa anterior un ondulator convierte la energía en una salida trifásica con valores de intensidad, frecuencia y tensión variables. Los elementos de conmutación son principalmente transistores bipolares (BJT), CMOS o similares, IGBT, tiristores, GTO, etc. La señal de salida se obtienen por procedimientos como troceado, señales de aproximación senoidal mediante PWM (modulación por anchura de impulsos) o mediante ciclo convertidores.

4.1.2 Ventajas variador:

- Se consiguen evitar los **picos de intensidad** que ocurren en arranques tipo estrella-triángulo o arranque directo en el motor.
- Los **arranques y paradas son más suaves**, lo que evita poner en sobreesfuerzo al motor.
- **Control de par a cualquier velocidad** (evita saltos o bloqueos del motor ante la carga).
- Los variadores **no tienen factor de potencia ($\cos\theta=1$)** por lo que no necesitan baterías de condensadores para compensar la reactiva.
- **Facilita el mantenimiento** gracias a la comunicación mediante bus industrial, ya que permite conocer el tiempo real el estado tanto del variador como del motor.
- Los variadores incluyen **sistema de protección** que abarca desde a sí mismo como al motor al que está conectados o la red.
- Genera **ahorros energéticos** al aportar al motor la energía justa y necesaria para su funcionamiento.
- Mediante contactores externos de puente (bypass) se puede utilizar un **único variador para el control secuencial** de varios motores, en el arranque y en la parada.

23 de junio de 2016

4.1.3 Desventajas variador:

- Si no está bien instalado o aislado (mediante filtros) **puede afectar a otros elementos electrónicos cercanos.**
- Si por cualquier razón se estropea un variador, su reparación deberá hacerla el servicio técnico, lo que no permitiría a la instalación seguir funcionando.
- La instalación, programación y mantenimiento debe ser efectuada por personal capacitado.
- Los motores conectados a variadores están diseñados para funcionar a una potencia nominal en una cierta frecuencia. Al modificar esta frecuencia se aumenta o disminuye tanto la potencia como la velocidad de giro del motor sin embargo muchos **motores utilizan un ventilador que se encarga de enfriarlo**, este ventilador puede ser dependiente o independiente del motor, en el caso de que sea dependiente (como suele suceder generalmente), el cambio en el funcionamiento debido al variador afecta de igual forma al ventilador, de modo que, es **imprescindible** saber si esta variación hará que el ventilador siga refrigerando lo suficiente al motor o por el contrario ya no es válido y por lo tanto es necesario colocar un nuevo ventilador independiente porque la capacidad térmica del ventilador disminuye a medida que la velocidad se reduce, lo que limita el par continuo en bajas velocidades en el caso de sistemas autorefrigerados.

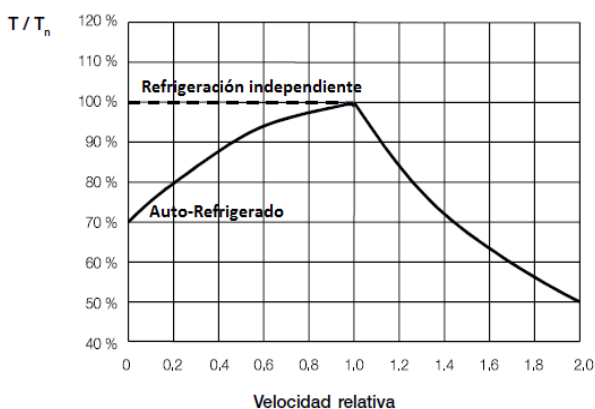


Imagen: 12 Capacidad térmica del ventilador de un motor en función de la velocidad relativa del mismo.

- La **capacidad de carga** a corto plazo de un variador suele ser más crítica que la del propio motor ya que el motor tarda 15 minutos aproximadamente en recuperarse térmicamente si es pequeño o varias horas si se trata de un motor grande mientras que los convertidores de frecuencia son minutos.

23 de junio de 2016

4.1.4 Utilidad/objetivos para un variador:

- 1- Los motores se fabrican para una velocidad nominal (o de trabajo) determinada, mediante el variador se puede **controlar la velocidad** de modo que, por ejemplo: Si se dispone de un motor de 50Hz, 1500 rpm y 4 polos podría modificar las revoluciones por minuto con por ejemplo un rango de frecuencia que oscile entre 5 y 120 Hz las revoluciones estarían comprendidas entre 150 rpm y 3600 rpm respectivamente ($rpm = \frac{60 * Hz}{Pares de polos}$).
- 2- Los variadores pueden usarse para generar una **sobrevelocidad** que proporciona frecuencias de salida superiores a la del trabajo del motor, lo cual crea un giro a una velocidad superior a la nominal. La argumentación matemática de esta afirmación reside en que la curva de par, para la velocidad de trabajo mayor a la nominal disminuye de modo que duplicando al velocidad, el par pasa a la mitad de su valor:

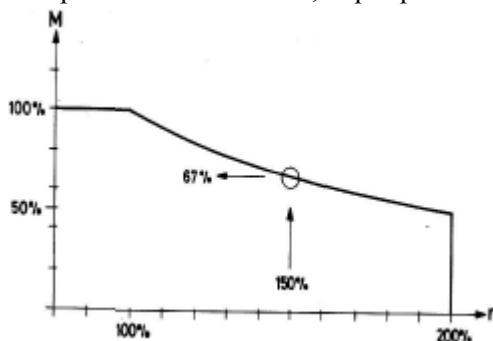


Imagen: 13 Efecto de sobrevelocidad causada por un variador en el par del motor

Esta propiedad es **útil en aplicaciones que no requieran mucho par** (un ejemplo utilizado serían las sierras de disco las cuales requieren principalmente de gran velocidad). Esta técnica sin embargo requiere del conocimiento de las características de par y temperatura de trabajo del motor a aplicar el variador.

- 3- Mediante variadores se puede **controlar el par transmitido por el eje** (par motriz). Partiendo de que:

$$T = 9550 * \frac{P}{n} \quad y \quad T = K * \left(\frac{U}{f}\right)^2$$

Dónde:

- T es el Par motriz
- K y 9550 son constantes
- U es la tensión aplicada al estator (inductor)
- f es la frecuencia (Hz)
- P es la potencia del motor en Kw
- n es la velocidad de giro del motor en rpm.

Además el flujo magnético en los polos del motor (ϕ) de la tensión de la siguiente manera:

$$U = K * \phi * f \quad \text{Despejando el flujo magnético, se obtiene que: } \phi = K \left(\frac{U}{f}\right)$$

23 de junio de 2016

De este modo se sabe que el par depende directamente del flujo magnético, por lo que **controlando el flujo, se podrá controlar el par**, si además se considera la relación entre par y velocidad:

Flujo constante= Par constante, lo cual implica $\frac{U}{f} = \text{constante}$

De este último factor dependerá el par motriz desarrollado, el cual es independiente de la velocidad de giro del motor, además considerando que U^2 es proporcional al par (segunda fórmula expuesta en este apartado) el hecho de que U/f sea una constante implica que el Par depende directamente de la tensión al cuadrado ($T \propto U^2$)

- 4- El **arranque de un motor en carga mediante variador** debe realizarse con un mínimo de par inicial para garantizar que el motor empiece a girar. Esto se logra con un valor mínimo de tensión de acuerdo a las propiedades $\frac{U}{f}$ y de Par vistas en el punto 3 anterior. La variación de par deberá de ser cuidadosa para no exceder ni las características del motor ni del variador, esta necesidad es importante en el arranque ya que se pueden generar corrientes elevadas que el variador no permita.

Cabe destacar que en los casos en los que el motor conectado al variador deba de **girar en las dos direcciones**, como por ejemplo un ascensor, donde el control de par es importante, ya que en la subida el control permite el arranque e inicio de la marcha y en el descenso retiene la carga evitando el embalamiento del motor, en cualquiera de estos casos **el variador no puede funcionar como freno de motor**, por lo que en caso de necesitarlo, deberá de instalarse uno independiente de retención mecánica apropiado para la aplicación de cualquier tipo adecuado (magnético, disco, zapata, etc.)

- 5- Los tipos de cargas típicas en las que se puede aplicar:

- Par de carga constante: $T = \text{constante}$

Ocurre en aparatos cuyo **par no varían en su funcionamiento habitual**, alguno de los sistemas en los que ocurre esto son por ejemplo **molinos, bombas de pistón o transportadoras de carga** en las que se incluyen cintas, elevadores etc. Aunque en la realidad el comportamiento no es exactamente constante debido a la desviación surgida por la fricción además la diferencia respecto al comportamiento ideal surgido en el arranque:

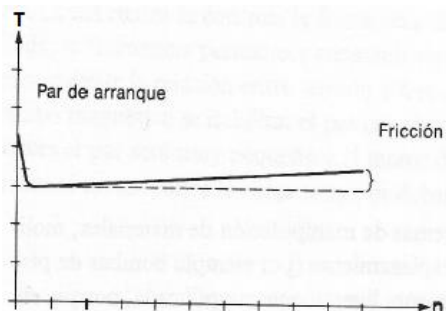


Imagen: 14 Relación de par-velocidad de aparatos con par de carga constante

23 de junio de 2016

En el arranque real es necesario un sobrepar para superar la fuerza de rozamiento del sistema parado. Este sobre esfuerzo debe de programarse según las características del variador en cuestión a usar, ya que se puede generar una sobrecorriente que no soporte. **La potencia necesaria aumenta proporcionalmente a la velocidad**, por lo cual la aceleración es lineal hasta alcanzar la velocidad de trabajo (nominal).

- Par de carga cuadrático: $T \propto n^2$

Ocurre en **aparatos cuyo par empieza inicialmente en valores bajos y crece de forma cuadrática al aumentar la velocidad**, esta es una característica común en aparatos tales como **ventiladores, motores de bombas centrífugas etc.** De modo que este dato es de vital interés para el proyecto, ya que se tratan del comportamiento de las maquinas a estudiar.

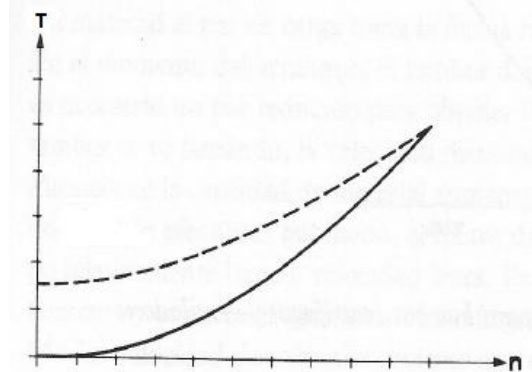


Imagen: 15 Relación de par-velocidad de aparatos con par de carga cuadrático

- Potencia constante: $P = T \cdot \omega = \text{constante}$

En este caso el **par disminuye al aumentar la velocidad para poder mantener la potencia a valor constante**. Esta característica se da en **máquinas herramienta de corte, laminación, bobinadoras etc.** En caso de que el par necesario no sea alto se aprovecha esta característica de sobre-velocidad.

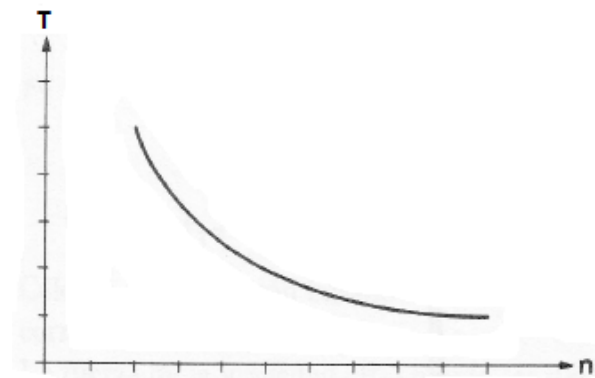


Imagen: 16 Relación de par-velocidad de aparatos con potencia constante

23 de junio de 2016

- Potencia/par = constante: $P/T = \text{cte.}$

Este tipo de carga es una **combinación entre los que poseen potencia constante y carga constante**, se suele dar en la industria de la papelería y es consecuencia del dimensionado del sistema según la **necesidad de potencia a altas velocidades**.

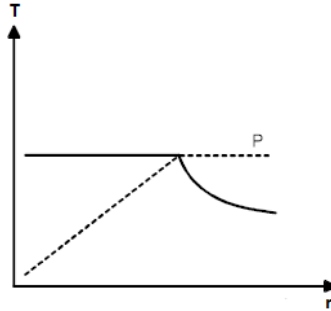


Imagen: 17 Relación de par-velocidad de aparatos con potencia/par constante

- Función de la demanda de par de arranque

En las aplicaciones en las que se usa este tipo de cargas son en las **bombas espirales y extrusoras**. En ellas se precisa un **par elevado bajas frecuencias**.

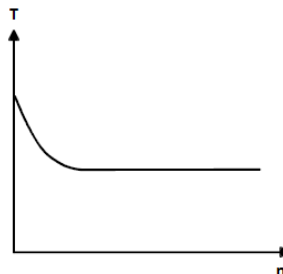


Imagen: 18 Relación de par-velocidad en función de la demanda de par de arranque

- Otras cargas:

Existen otros tipos de carga más complejas que las anteriores descritas como cargas con pares simétricos (halladas en rodillos, grúas, etc.) o asimétricos los cuales pueden ser función del ángulo o del tiempo. La elección del convertidor de frecuencia dependerá de su capacidad de sobrecarga y de la del motor además del par medio de este.

23 de junio de 2016

6- Otros parámetros y características:

A- Variación de la frecuencia: tipo “S” y doble “S”

Se combina una variación proporcional y lineal en uno o dos pasos:

- En un **único paso** la frecuencia de salida aumenta de forma progresiva a lo largo del tiempo:

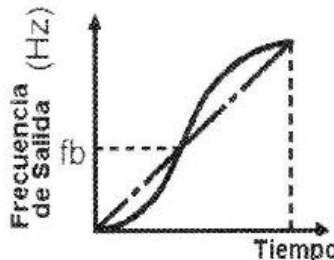


Imagen: 19 Comportamiento de frecuencia de salida en función del tiempo: 1 paso

- En **dos pasos** se crea un punto de inflexión donde se da la aceleración máxima:

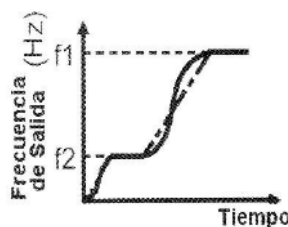


Imagen: 20 Comportamiento de frecuencia de salida en función del tiempo: 2 pasos

B- Golpe de ariete

Este efecto se da en sistemas de **elevación de fluidos** mediante bombas donde si en el funcionamiento normal del motor (electrobomba) ocurre una parada (repentina), la columna del fluido que inicialmente se encontraba en ascenso empezara a retornar, comprimiendo el resto del fluido lo que a su vez generara un efecto de compresión y expansión que puede, dependiendo de los materiales y del fluido, deformar o agrietar el tubo. En caso de querer evitarlo mediante el uso de un variador se deberán aplicar arranques y paradas controladas para que la presión ejercida sobre la columna de fluido varíe de forma más suave. Este sistema suele llevar además un sistema auxiliar de seguridad para casos de avería, por ejemplo válvulas de asiento.

C- Protección de motor y variador

- **Sobrecarga:** Los variadores proporcionan en condiciones normales de trabajo una intensidad nominal o una cierta sobrecarga siempre que sea de breve duración. Esta duración dependerá del variador escogido, sus características y el valor de la sobrecarga aunque en todos los casos ocurrirá un gran decremento del tiempo de sobrecarga soportada según se aumenta el valor de la misma. Por poner un ejemplo si hubiese una sobrecarga que superara el 150% del valor nominal de corriente el tiempo soportado por el variador podría ser de 60 segundos, mientras que si fuese del 200% el

23 de junio de 2016

tiempo soportado podría ser 0,5 segundos, con esto se pretende explicar que la resistencia a sobrecargas no es lineal respecto al tiempo.

- **Alarma:** los variadores poseen alarmas analógicas que detectan fallos debido a sobretensión, inversión, fase etc.
- **Interruptor automático:** es necesario instalarlo junto al variador y será apropiado según la intensidad nominal a manejar. En los manuales de uso de los variadores se indica el calibre de la protección y las de los fusibles en caso de usarlos.
- **Toma de tierra:** no estará conectada con bornes comunes de las entradas o salidas analógicas y/o digitales

D- Temperatura de trabajo del variador:

Los motores llevan un **ventilador incorporado** para refrigerarlo en condiciones normales. Al conectar un variador al motor y reducir su velocidad también se reduce la velocidad del ventilador de refrigeración, lo que **reduce su eficacia y favorece el calentamiento del motor.**

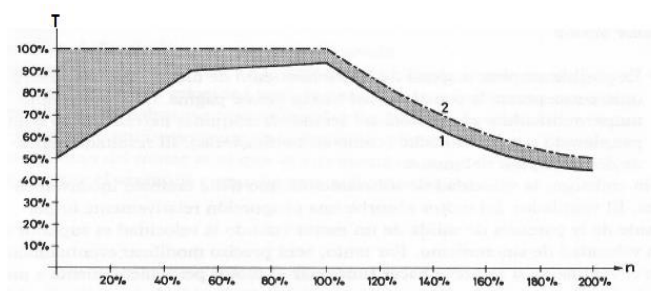


Imagen: 21 Capacidad de carga típica de un motor de inducción por jaula estándar en un accionamiento controlado por frecuencias

En la zona 1 de la gráfica de relación entre el par y la velocidad el motor permanece en valores aceptables, sin embargo para valores de par de trabajo superiores al 50% la temperatura aumenta por lo que es necesaria una refrigeración suplementaria independiente.

De igual modo en caso de una sobre velocidad el ventilador propio del motor tampoco funciona correctamente debido a que se incrementa el rozamiento con el aire y genera un sobreesfuerzo del motor, por lo que de igual manera se necesita refrigeración externa.

E- Frenado mediante el uso de variador

Consiste en frenar de forma controlada al motor, **reduciendo paulatinamente su velocidad mediante la reducción de la frecuencia aplicada.** Dependiendo del tipo de par aplicado (constante o variable) existen diversos tipos de frenado que impliquen la utilización de variador:

- **Rampa lineal de parada**
Consiste en ajustar previamente el tiempo de duración de la parada. Este método es válido **para motores cuya carga provoque poca resistencia.**

23 de junio de 2016

➤ Frenado regenerativo

A causa de la inercia de la carga, el motor gira más rápido que la frecuencia establecida por el variador (hipersíncronia), de esta forma el **motor se comporta como un generador**. La energía generada es inyectada en el variador y se disipa mediante resistencias o dispositivos externos de frenado, en caso de no disponer de estos medios, ya que no suelen incluirlos los variadores, la seguridad del mismo peligrará.

Los sistemas de gran potencia pueden usar este método para recuperar parte de la energía invertida y devolverla a la red de modo que se disminuyan pérdidas.

➤ Inyección de corriente continua

Se usa el variador para **inyectar c.c durante un breve periodo de tiempo** lo que provoca un rápido frenado del motor.

➤ Bloqueo del rotor

Esto más que un sistema de frenado es una avería, por las razones que sean **se bloquea el motor**, lo que provoca una alta intensidad que a su vez iniciara la parada del variador a acusa de una sobrecarga. El restablecimiento será independiente del variador, pudiendo ser manual o automático.

Nota: una vez el motor parado se necesita de un procedimiento externo (freno magnético, disco etc.) para mantener el bloqueo.

F- Sentido de Giro

El sentido de giro de un motor puede no ser relevante en algunos casos, pero por lo general es importante. **El variador puede ser usado para ambos sentidos** dependiendo de su conexión y algunos disponen de entradas por contacto (todo o nada) para seleccionar el sentido del giro (STF y STR). Si se dispone de un variador ya adquirido que no tenga esta capacidad, siempre se puede añadir un control externo ya sean pulsadores, autómatas etc. El cambio de giro se hará de forma paulatina mediante deceleraciones, paradas y finalmente aceleraciones en el sentido opuesto.

G- Instalación

La instalación varía entre los diversos modelos y marcas de variadores, siempre deberá de consultarse el manual de instalación en el que se especifica el modo de conexión además de instrucciones para su manejo y configuración. Las funciones que suelen incluir los variadores son:

- **Manual** incluido en el variador: mediante un display y teclado, se puede acceder a diferentes menús para establecer configuraciones o modos de funcionamiento, la mayoría de los cuales requieren que el motor este parado.
- **Consola de configuraciones**: permite acceder a todas las funciones del variador el cual al cual se conecta mediante una toma propia o de comunicación, al igual que el manual tiene pantalla y teclado por el cual se introducen las modificaciones. Tras realizar la programación pertinente se desconecta habiendo dejado guardadas las modificaciones en el variador.

23 de junio de 2016

- **Operaciones externas fijas:** se configuran entradas y salidas de tal forma que se pongan en el armario pulsadores, sensores, selectores o interruptores que activen funciones ya creadas anteriormente, accediendo así externamente.
- **Panel de operador:** Es una pantalla táctil que tiene control total o parcial del variador y permite visualizar información del mismo (velocidad, par, intensidad graficas etc).
- **Bus industrial:** sirve para que un ordenador lejano a la instalación pueda tener control sobre el variador o simplemente monitorizarlo. Generalmente los fabricantes lo construyen de modo que sea compatible con los buses industriales más comunes.

Las **funciones más importantes** que permiten modificar el comportamiento del variador mencionadas en los apartados anteriores son:

- Señales de salida: tensión e intensidad de trabajo del motor
- Frecuencia de salida
- Tiempo de aceleración y parada
- Control del par
- Señales de alarma y monitorización
- Elementos para el control (pulsador, potenciómetros etc.)
- Control del par
- Comunicaciones
- Operación sobre varios motores

Los **parámetros más relevantes para elegir o instalar un variador** son:

- Potencia del variador
- Protecciones: térmicas, sobrecarga, rearme.
- Capacidad de monitorización
- Cantidad y tipo de salidas/entradas de control (todo o nada o analógicas)
- Calidad de calibración

H- Señales de salida (**control mediante modulación de onda**)

La modulación por ancho de pulsos (PWM) es una técnica que regula la velocidad de los motores eléctricos de inducción o asíncronos. Es una técnica utilizada **tanto en c.c como en c.a** y permite mantener el par del motor constante sin desaprovechar la energía eléctrica. Su funcionamiento consiste en controlar el suministro y desconexión de la energía de red mediante relés en baja frecuencia o MOSFET o tiristores en alta frecuencia.

Otros sistemas usados en vez de variar la frecuencia son: modifican la tensión eléctrica de entrada, lo que disminuye el par del motor o colocar una resistencia eléctrica, lo que produce pérdidas de energía por dispersión térmica.

El variador produce señales de salida de tres fases tras trocear la señal continua generada utilizando dispositivos de potencia (interruptores) con tensión y frecuencia variables según la regulación. La señal de salida son en realidad fragmentos de onda rectangular.

23 de junio de 2016

I- Tipo de regulación: Lazo abierto o cerrado

- Lazo abierto
El variador **conectado directamente al motor** regula todo el proceso según los parámetros fijados
- Lazo cerrado
Se toma una medida real del motor y se realiza el control con un bucle cerrado de tipo PI, PID etc. Este sistema se denomina **servosistema**.

Selección del variador de frecuencia y del motor con el que trabajara:

El motor se elegirá en función de la necesidad que se tenga sin tener en cuenta de momento el variador, las pautas para elegirlos suelen ser: **rango de velocidad, curvas de par, tipo de ventilación (independiente o dependiente) y capacidad de carga.**

El variador se elige en función de la potencia del o los motores al que va a conectarse también es posible dimensionarse según la intensidad nominal del motor, pero no es uno de los mejores sistemas ya que los motores pueden perder intensidad debido a temperatura ambiente, envejecimiento etc.

La **tensión de alimentación** se deberá de medir antes de elegir un variador, la razón es que debido a variaciones de tensión en la alimentación afectara a la potencia en el eje del motor. Cuando la tensión de alimentación sea inferior a la nominal, el punto de debilitamiento del campo pasa a una frecuencia inferior, lo que produce que el par máximo del motor se reduzca.

El **par máximo** puede decaer por otras razones como cables, transformadores etc. Del sistema al producir una caída de tensión.

Las **etapas de dimensionamiento** importantes en el caso de que se partiese de cero (no es el caso en este proyecto ya que se disponen de los motores de los ventiladores) para aplicaciones como **bombas y ventiladores** (aplicaciones relevantes en el proyecto) son:

- Calcular la potencia con la velocidad más elevada del rango de velocidades.
- Comprobar las necesidades en el par de arranque.
- Elegir el número de polos deseado para el motor.
- Elegir la potencia del motor y que esté disponible a la máxima velocidad teniendo en cuenta la capacidad de carga térmica.
- Elegir el convertidor de frecuencia en función del régimen nominal del ventilador o bomba (en caso de que no se disponga, tal y como se comentó anteriormente, se puede usar el método de intensidad, aunque no sea tan fiable).

23 de junio de 2016

4.2 Intercambiadores de calor

Los intercambiadores son equipos cuya función es **reaprovechar la temperatura del edificio** o local en el que se instalan, intercambiando calor del aire de ventilación de entrada con el de salida **SIN que haya mezcla** entre los aires.

Este intercambio sirve para pre-tratar (ya sea pre-calentado o pre-enfriando) el aire exterior, con lo que se reduce el consumo energético de la instalación de climatización.

Dentro del intercambiador hay un elemento llamado intercambiador (valga la redundancia) o “core”. El “core” está compuesto por laminas en contraposición por las que circula el aire de extracción e impulsión, estos aires ceden/absorben el calor a/de los conductos por los que circulan, de forma que no existe el contacto entre los flujos pero permite la transferencia térmica.

De acuerdo con el *Reglamento de instalaciones térmicas de los edificios (RITE): IT 1.2.4.5.2.1: “en los sistemas de climatización de los edificios en los que el aire expulsado del interior, por medios mecánicos, sea superior a 0,5m³/s (1800m³/h), se recuperara la energía del aire expulsado”*.

4.2.1 Tres grandes familias de intercambiadores:

Las cuales son: equipos se **flujos cruzados, de flujos paralelos y rotativos**:

- **Flujos cruzados**
Estos equipos se caracterizan porque los **aires se cruzan de forma perpendicular (90°)** entre sí dentro del intercambiador. El rendimiento suele rondar del **50% al 85%** dependiendo de las condiciones de trabajo y del fabricante.

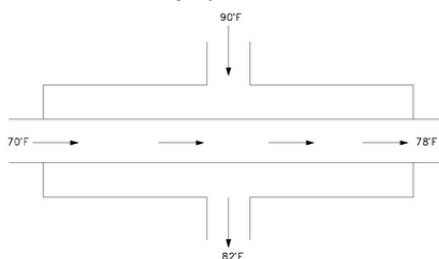


Imagen: 22 Ejemplo de Flujo cruzado

23 de junio de 2016

- Flujos paralelos

Estos equipos cruzan los aires de entrada y salida de **forma paralela** y en contracorriente, lo cual favorece el intercambio notablemente, alcanzando rendimientos teóricos que rondan el **90%**.

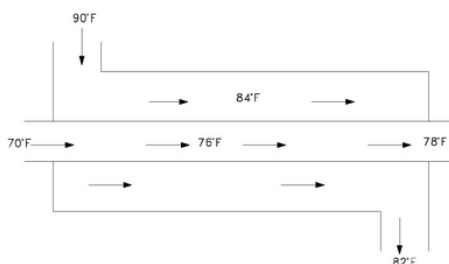


Imagen: 23 Ejemplo de Flujo paralelo

- Flujos rotativos

Estos equipos se componen de una **masa cilíndrica acumuladora de calor** que gira mediante un motor y por la que circula el aire, tanto el fluido frío como caliente, la mitad de la circunferencia se encarga del aire frío, la otra mitad del caliente, al girar la mitad de la masa acumuladora que se ha calentado por el efecto del aire caliente pasa a la zona fría donde el aire frío circula a través de las láminas previamente calentadas, lo que eleva su temperatura, lo inverso ocurre en la zona contraria. La eficiencia de estos intercambiadores esta entre el **65% y el 70%**. Dispone además de una sección de purga para evitar que mediante el giro parte del aire de salida se reintroduzca.

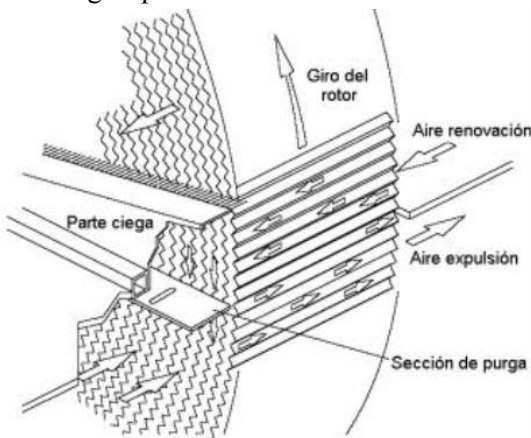


Imagen: 24 Funcionamiento de Flujo rotativo

La eficiencia de los intercambiadores de calor se expresa como:

$$eficiencia = \frac{Temp_{exterior\ final} - Temp_{exterior\ inicial}}{Temp_{interior\ inicial} - Temp_{interior\ final}}$$

Ecuación 1 Eficiencia de los intercambiadores

23 de junio de 2016

Y, mediante tablas de rendimientos respecto de caudales y presiones, suele ser uno de los datos que aportan los fabricantes de intercambiadores.

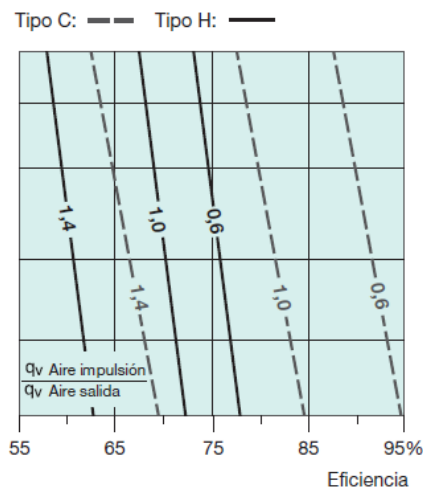


Imagen: 25 Ejemplo de tabla de rendimiento: Intercambiador de calor de placas DVQ de Systemair

En este proyecto se usaran unos intercambiadores concretos, los recuperadores de calor, cuyo objetivo final es el de pre-calentar el aire de entrada, usando para ello, el calor del aire expulsado.

4.2.2 Otros elementos importantes en los recuperadores:

Algunos de ellos son opcionales para la acomodación del edificio o local y así generar un mayor confort en sus ocupantes, otros sin embargo son necesarios para el cumplimiento de normativas:

- Unidades de filtración

Estos dispositivos tienen como finalidad **depurar el aire** que circula por ellos eliminando partículas nocivas, ya sean para la salud humana (especial importancia en las ventilaciones de entrada) o para el medio ambiente (destacables en las ventilaciones de salida al exterior), en ambos casos deberá de cumplir los requisitos del Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE).



Imagen: 26 Ejemplo de filtros de malla

23 de junio de 2016

- Baterías de agua

Estos aparatos se utilizan en zonas geográficas con **grandes diferencias de temperaturas**, ya sea porque en invierno bajan mucho las temperaturas o porque en verano ascienden considerablemente. El funcionamiento es similar al de una instalación intercambiadora normal salvo que por el core se hará pasar agua caliente o fría según a la función del recuperador (calentar o enfriar el aire de entrada respectivamente) para acondicionar mejor el ambiente.

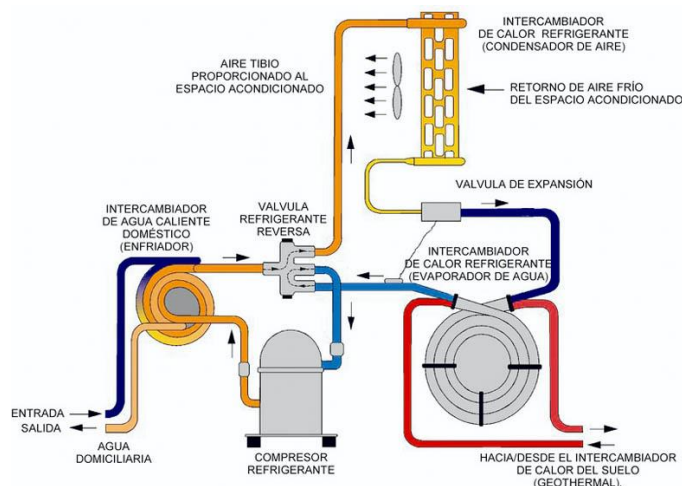


Imagen: 27 Esquema de funcionamiento de batería de agua reversible en funcionamiento como refrigerador

- Bypass

Este sistema es en la **mayoría de casos no industriales** (es decir, aplicaciones que van dirigidos a personas) de vital importancia, consiste en redirigir uno de los flujos de entrada al intercambiador evitando que entre en el core, para así ocasionar que no ocurra el intercambio térmico. Esto, aunque parece no tener sentido dado a la finalidad del intercambiador, es extremadamente útil cuando se desea interrumpir el objetivo de un intercambiador cuya finalidad es por ejemplo calentar una vivienda reaprovechando el calor extraído de la misma, debido a que ya se ha alcanzado una temperatura lo suficientemente elevada y no se desea aumentarla más, este caso se puede dar por ejemplo en un día caluroso de verano.

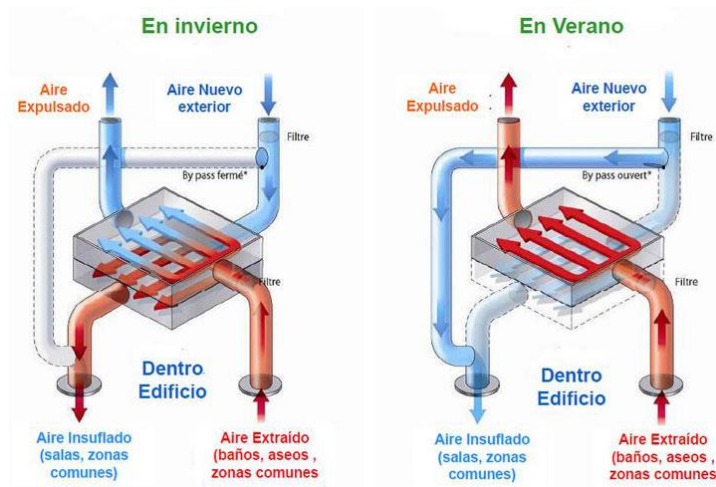


Imagen: 28 Esquema de bypass que evita que en verano se genere un intercambio de calor entre el aire del exterior más frío que el aire extraído del interior.

23 de junio de 2016

- Módulo de enfriamiento adiabático

Consiste en el **enfriamiento del aire al humidificarlo**, este proceso se realiza antes de la entrada al intercambiador por lo que en esta etapa aún no hay intercambio de calor. Es habitual su utilización en verano haciendo que entre en el intercambiador un aire más frío y húmedo lo que generara un aumento del gradiente de temperatura que implica a su vez que el aire del local sea más frío aumentando la eficiencia del recuperador (siempre y cuando obviamente el objetivo sea enfriar el edificio o local).

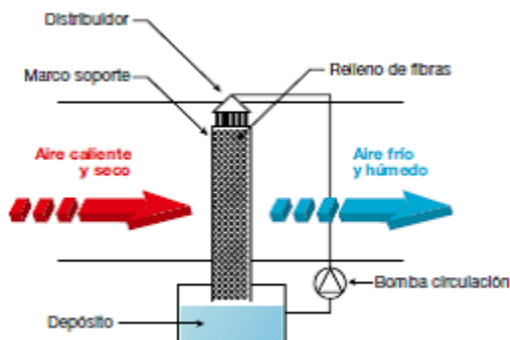


Imagen: 29 Esquema de módulo d enfriamiento adiabático

4.3 Humidificadores

Antes de definir los humidificadores y los diversos tipos existentes, es necesario definir la “humedad relativa” y los “efectos del aire seco en los materiales”.

4.3.1 Definición: humedad relativa (HR)

La humedad relativa “F” es la relación entre la masa real de vapor de agua en el aire comparada con la masa máxima posible de vapor de agua en el aire:

$$F = \frac{f}{f_{max}} * 100$$

$$\text{Humedad relativa} = \frac{\text{Humedad absoluta}}{\text{Humedad maxima}} * 100$$

La necesidad de humectar existe generalmente en los periodos invernales, cuando el aire exterior frío y húmedo, por ejemplo -5°C, 90% HR, se calienta en el ambiente industrial hasta alcanza los 20°C genera que su humedad relativa se reduzca (por ejemplo) al 15% HR, este aire se percibiría como “seco”.

También un sistema de acondicionamiento o de refrigeración puede “secar” el aire, porque actúa refrigerando el aire por debajo del punto de rocío, eliminando la humedad (Deshumectación). En ambos casos de aire seco se produce un fenómeno de reequilibrio entre la humedad del aire y los objetos que hay en el ambiente, que tienden a perder el contenido de agua que se evapora en el aire.

23 de junio de 2016

4.3.2 Efectos conocidos del aire seco sobre los materiales:

- **Variación dimensional** y cualitativa de algunos materiales higroscópicos con fibras vegetales como papel, textil, madera, etc.
- Pérdida de peso y **empeoramiento del aspecto de productos frescos** como fruta y verdura almacenadas o expuestas en mostradores.
- Presencia de electricidad estática y, por lo tanto, **fenómenos de descargas** y de adhesión electrostática.
- Diminución del bienestar y del confort del personal, **sequedad de las vías respiratorias** y, por lo tanto, la predisposición a las típicas enfermedades invernales.

Desde el punto de vista de este proyecto solo son relevantes los dos últimos puntos, con especial interés en el último.

Resumen tipos de humidificadores:

- **Adiabáticos**
 - Evaporativos
 - Atomizadores de agua
 - Ultrasonido: Los humidificadores de atomización de agua por ultrasonidos utilizan la vibración ultrasónica (1.68 MHz) para generar un vapor frío que es rápidamente absorbido en el aire a humidificar. Un ventilador incorporado facilita la distribución de agua atomizada en el aire.
- **Isotérmicos**
 - Eléctricos
 - De gas

Los **humidificadores adiabáticos**, que son de los que se disponen en la sección de Revisión Final, atomizan el agua en gotitas finísimas que se evaporan espontáneamente en el aire absorbiendo calor y, por lo tanto, enfriando el aire. Este es un efecto indeseado pero necesario ya que se necesita combustionar más gas para alcanzar una temperatura deseada.

En fábricas que producen mucho calor sin embargo, como por ejemplo las acerías, un sistema de refrigeración adiabática aumenta el confort de algunos trabajadores y, por lo tanto, su nivel de atención, disminuyendo los errores y aumentando la productividad.

En los **humidificadores isotérmicos** el vapor saturado suministrado ya se encuentra en estado gaseoso debido a la energía provista por el humidificador (corriente eléctrica, gas, carbón, etc.) y por lo tanto se mezcla con el aire sin dificultad. Durante el proceso de la humidificación, a medida que la humedad relativa aumenta, la temperatura se mantiene constante.

23 de junio de 2016

Los humidificadores **isotérmicos son frecuentemente utilizados en instalaciones familiares** y comerciales. Tienen dos componentes principales: La unidad que genera el vapor, y el dispositivo que lo distribuye.

Desde un punto de vista retrospectivo hubiese sido más conveniente haber instalado un sistema isotérmico en revisión final puesto que la energía aportada para la humidificación tiene menores pérdidas con un sistema adiabático.

Cualquier sistema de humectación debe tener como finalidad contribuir a la salubridad de los ambientes introduciendo en el aire sólo humedad higiénicamente segura. Para esto están disponibles los humidificadores generadores de vapor y humidificadores adiabáticos que utilizan materiales y destrezas para generar “humedad” segura.

4.4 Iluminaciones Led

Información en relación a la tecnología Led:

- ❖ El lumen: es una medida internacional que hace referencia a la cantidad de luz visible que produce una fuente luminosa.
- ❖ Existen diferentes temperaturas de colores las cuales hacen referencia al color de emisión de la fuente, en función del tipo de trabajo se utilizan focos de temperaturas diferentes. Los Leds comunes son:
 - Blanco Frío (6000K),
 - Blanco cálido (3000-3500K)
 - Blanco Natural(4000-4500K)
 - Otros colores (azul, rojo, verde y amarillo).
- ❖ Estado sólido: Se refiere al hecho de que la luz emitida por un LED se emite a partir de semiconductores en lugar de un vacío o un tubo de gas como ocurre con los fluorescentes tradicionales. Al no contener gases en su interior, las luminarias LED favorecen a la conservación del medio ambiente y son mucho más resistentes a golpes.
- ❖ Las luminarias LED están fabricadas para sustituir directamente a las bombillas tradicionales, utilizando los mismos conectores. Por lo que la sustitución es directa en la mayor parte de los casos.
- ❖ El factor de potencia es una medida utilizada para describir la cantidad de corriente que contribuye a la potencia real de una carga. El factor de potencia de 1, indica que el 100% de la corriente contribuye a la potencia de la carga.
- ❖ El LED es una tecnología en constante desarrollo y con un proceso de fabricación bastante complejo. Su menor producción actual respecto a la iluminación tradicional hace que su precio sea mayor.
- ❖ El Color Rendering Index (CRI), es una unidad que mide la capacidad de una fuente de luz para reproducir los colores de objetos de manera fiel en comparación a una fuente ideal de luz, o fuente natural como la luz del sol. El CRI es determinado en valores desde el 0 hasta el 100, siendo 100 el valor perfecto.

23 de junio de 2016

❖ Características Led:

➤ **Larga vida:**

La iluminación LED se caracteriza por el largo tiempo de vida que posee (entorno a las 50.000 horas) en comparación con otras luminarias. La duración de estas no se calcula en función del momento en que se apagan, sino en base a un porcentaje del flujo luminoso (lúmenes) inicial. Esto significa que las luminarias LED siguen funcionando una vez consumidas las horas de vida útil especificadas aunque con menor intensidad.

➤ **Eficiencia energética:**

Hoy en día, la tecnología LED es la forma más eficiente de iluminación, alrededor del 80% de la energía eléctrica se convierte en luz, consumiendo menos potencia y emitiendo menos calor que las bombillas incandescentes normales que únicamente convierten el 20% de la energía en luz.

➤ **Iluminación ecológica:**

Los dispositivos LED no contienen mercurio, no producen irradiaciones de infrarrojos, no producen contaminación lumínica y son 100% reciclables.

➤ **Durabilidad:**

Las luminarias LED están fabricadas de componentes altamente resistentes que pueden soportar las condiciones más duras. Son ideales para sistemas de iluminación al aire libre debido a su gran resistencia a la intemperie, viento, lluvia, polvo, etc.

➤ **Cero emisiones UV:**

La iluminación LED produce muy poca luz infrarroja y escasas emisiones UV. Debido a esto, es muy adecuada para la iluminación de materiales sensibles al calor, tales como galerías de arte, sitios arqueológicos, etc.

➤ **Flexibilidad de diseño:**

Las luminarias Leds pueden regulables, pudiendo obtener un control dinámico de la luz, color y distribución.

➤ **Gran resistencia:**

Las luminarias LED son ideales para ambientes con temperaturas frías o calientes. Para las lámparas fluorescentes, las bajas o altas temperaturas pueden afectar el funcionamiento.

➤ **Fácil direccionalidad:**

La tecnología LED está diseñada para enfocar su luz y poder ser dirigida a un lugar específico, sin el uso de un reflector externo.

La luz emitida por el LED, es mucho más brillante y nítida que la del halógeno y el fluorescente. Tiene un encendido inmediato (microsegundos), y no tiene fallos, parpadeos ni variaciones de intensidad.

La iluminación LED no altera los colores reales, gracias a su alto índice CRI.

23 de junio de 2016

➤ **Encendido y apagado:**

Las luces LED se pueden apagar y encender sin afectar a la vida del LED o la emisión de luz. En contraste, la iluminación tradicional puede tardar varios segundos para alcanzar el brillo máximo, además la frecuencia de encendido / apagado, reduce drásticamente la esperanza de vida operativa de las luminarias tradicionales.

➤ **Iluminación a baja tensión:**

Una fuente de alimentación de baja tensión es suficiente para la iluminación LED. Esto hace que sea fácil de emplear también en exteriores, mediante la conexión de una fuente de energía solar externa.

4.5 Velocidad del aire de los ventiladores

Según el “Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones- Aplicación de pintura en carrocerías”:

“Cabinas de pintura: En el diseño de una cabina de pintura los criterios de calidad de acabado deben ir unidos a los de salubridad del trabajo en el interior de la misma. Así pues, además de conseguir la eliminación de depósitos intempestivos de polvo y pulverizados en la superficie pintada, debe obtenerse un grado de ventilación suficiente para mantener la concentración ambiental de contaminantes durante el pintado por debajo de los límites higiénicos recomendados.

Estudios técnicos realizados en cabinas de pintado de automóviles, en los que se ha relacionado velocidad de aire y concentraciones ambientales de contaminantes, han permitido establecer los siguientes principios básicos que garantizan alcanzar satisfactoriamente ambos objetivos:

- *El sentido de las corrientes de ventilación debe ser vertical descendente, con impulsión de aire por el techo y salida por el suelo. Las corrientes de aire horizontales no son admisibles en estas operaciones.*
- *El flujo de aire debe mantenerse regular y homogéneo en la zona de trabajo.*
- *El caudal de aire del sistema de ventilación, que no define por sí mismo la calidad de la instalación, debe ser el suficiente para mantener una velocidad media del aire igual o superior a **0,4 metros por segundo**, con valores individuales no inferiores a 0,3 m/seg.*

Aspectos de salud laboral en los talleres de reparación de carrocerías

Las mediciones deben hacerse con un anemómetro capaz de indicar velocidades de aire comprendidas entre 0,1 y 1 m/s \pm 0,05 m/s.”

En Volkswagen navarra se cumple lo especificado anteriormente en el funcionamiento de los ventiladores, ahora bien, esa velocidad del flujo del aire es a causa de una necesidad de disipación de los productos químicos empleados en el pintado del vehículo y favorece, (según información suministrada por Volkswagen,) la sedimentación uniforme de la pintura. Sin embargo, si no se está haciendo uso del espacio para ese fin, la **velocidad podrá reducirse**.

Existen otros métodos de cálculo de velocidad del aire que están especificados en el **RITE** (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios) o el **DIN 1946** los cuales son de hecho menos restrictivos que el libro blanco, en parte porque solo consideran la salubridad de la instalación y no el acabado del vehículo:

23 de junio de 2016

- Algunos de los procedimientos más empleados en RITE:
 - Método indirecto de caudales de aire exterior por persona
 - Método indirecto de caudal de aire por unidad de superficie
 - Método directo de concentración de CO₂
- Procedimiento empleado en DIN 1946:

Este será el procedimiento empleado para poder reducir la velocidad del aire de forma segura, consistirá en la utilización de las renovaciones por hora aconsejadas. DIN 1946 (Deutsches Institut für Normung: Instituto Alemán para la Normalización) incluye una lista con las **renovaciones recomendadas** en base al lugar a aplicar:

según norma DIN 1946			
Tipo de Local		Renovaciones de aire por hora MIN	Renovaciones de aire por hora MAX
WC, inodoros	Privados	4,00	5
	Públicos	8,00	15
Aseos y baños		5,00	7
Duchas		15,00	25
Bibliotecas		4,00	5
Oficinas		4,00	8
Tintorerías		5,00	15
Cabinas de pintura		25,00	50
Garajes y parkings		5,00	5
Salas de decapado		5,00	15
Locales de acumuladores		5,00	10

Etc.

Tabla 1 Renovaciones de aire según la norma DIN 1946

El cálculo del caudal mínimo requerido de ventilación de aire exterior es inmediato a partir de los datos de renovaciones horas de la tabla anterior.

El **caudal Q** mínimo y máximo de aire exterior se calcula como:

$$Q = Vol \cdot N \text{ (m}^3\text{/h)}$$

23 de junio de 2016

Dónde: V es el volumen que ocupa el local o establecimiento en m^3 y N es el número de renovaciones por hora extraído de la tabla anterior en función del uso dado al local o edificio.

Se puede desarrollar la ecuación anterior para que se simplifique partiendo de que:

- $velocidad = \frac{Vol * N}{Area} \equiv \frac{m^3/h}{m^2} = m/h$
- $Vol = longitud * ancho * altura = Area * altura \equiv m^2 * m = m^3$

Uniendo ambas ecuaciones se obtiene que:

$$velocidad = \frac{Area * altura * N}{Area} = altura * N \equiv m/h$$

En el proyecto se trabajara con la velocidad del aire en metros segundo por lo que:

$$velocidad' = \frac{altura * N}{3.600} \equiv m/s$$

La altura de todas las instalaciones de pintado rondan los 4 metros, de modo que con este dato y el de las tablas de renovaciones de aire a la hora se obtienen el rango de velocidades de aire de:

$$velocidad'_{min} = \frac{4 * 25}{3600} = 0,027 m/s$$

$$velocidad'_{max} = \frac{4 * 50}{3600} = 0,055 m/s$$

Como se puede observar los valores de velocidad del aire de la DIN 1946 distan bastante de los del Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones, además algunas empresas de ventilación (“Salvador Escoda S.A” o “Soler&Palau Ventilation Group” por ejemplo) recomiendan una **renovación del aire de 180** en vez de las especificadas anteriormente, al ser un valor más restrictivo el que recomiendan las propias empresas se tendrá en consideración para la reducción de velocidad:

$$velocidad_{recomendada por fabricantes} = \frac{4 * 180}{3600} = 0,20 m/s$$

Como punto adicional se hace saber que el artículo 53 del capítulo V del Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo Decreto Ejecutivo 2393 especifica que:

“La circulación de aire en locales cerrados se procurará acondicionar de modo que los trabajadores no estén expuestos a corrientes molestas y que la velocidad no sea superior a 15 metros por minuto a temperatura normal, ni de 45 metros por minuto en ambientes calurosos.”

23 de junio de 2016

Esto es, que **no supere los 0,25m/s en ambientes normales o 0,75m/s en los calurosos**, con lo cual se cumple con el reglamento.

Sin embargo dado que el objetivo del proyecto es ahorrar energía, que los reglamentos tienen un límite menor de velocidad del aire permitida y que la recomendación está hecha para disipar la pintura y, actualmente, se dispone la reducción de velocidad de aire para periodos en los que no habrá pintado, se considera que se puede reducir la velocidad a 0,15m/s en lugar de 0,2m/s, es decir, se reduciría la velocidad del aire un 12,5% más para aumentar el ahorro eléctrico en un 7,2%.

Por ello se concluye con que en los casos en los que sea posible **se reducirá de 0,4m/s a 0,15m/s** la velocidad del aire, esto es, un 62,5% menos.

Lo que supone, según los cálculos realizados en el apartado “9.7.2 Reducción de la potencia con la velocidad del aire de ventilación”, una disminución del consumo de la potencia al 5,27% de la potencia nominal.

23 de junio de 2016

5 Descripción de puntos localizados de posibles ahorros

Para poder localizar puntos de pérdidas energéticas o de posibles mejoras, primero se han clasificado los gastos energéticos actuales. La clasificación resultante ha sido: “*Ahorro mediante modificación en el consumo de Gas*” y “*Ahorro mediante modificación en el consumo eléctrico*”, que recopila cambios que afectan a los dos gastos mencionados antes. La sistematización se ha realizado de la siguiente manera:

- Ahorro mediante modificación en el consumo de Gas:
 - Posibles pérdidas energéticas localizadas:
 - Funcionamiento de quemadores de gas en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos (*apartado 6.1.1*).
 - Humidificación del aire (humidificación adiabática) (*apartado 6.1.2*).
 - Posibles mejoras energéticas localizadas:
 - Nuevas fuentes de calor (*apartado 6.2.1*).
 - Precalentamiento del aire impulsado del exterior al interior de la nave (*apartado 6.2.2*).
 - Modificación del horario de turnos de trabajo para ahorrar energía mediante variaciones naturales de temperatura (*apartado 6.2.3*).
- Ahorro mediante modificación en el consumo eléctrico:
 - Posibles pérdidas energéticas localizadas:
 - Funcionamiento de las máquinas (ventiladores y/o bombas) en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos (*apartado 7.1*).
 - Posibles mejoras energéticas localizadas:
 - Utilización de variadores para:
 - Reducción de consumo en periodos de descansos (*apartado 7.2.1*).
 - Reducción de consumo en periodos de trabajo donde se decide variar el funcionamiento de las maquinas (*apartado 7.2.2*).
 - Reducción de consumo en periodos de trabajo en los que se pueda variar las maquinas sin que se altere el producto final. (*apartado 7.2.3*).
 - Sustitución de iluminación actual por una de menor consumo (*apartado 7.2.4*).

23 de junio de 2016

6 Ahorro mediante modificaciones en el consumo de Gas

Nota: los cálculos realizados para las siguientes afirmaciones de la siguiente sección se encuentran en el apartado 9-Cálculos.

6.1 Pérdidas en el consumo de Gas

6.1.1 Funcionamiento de quemadores de gas en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos: Ubicado en L1.

Descripción:

Si bien los trabajadores realizan su cometido en esta línea (L1) de 6:00 a 14:00, el periodo de funcionamiento de los quemadores de gas se prolonga hasta las 15:00, calentando el aire sin que se requiera realmente. Considerando que esta práctica se repite diariamente, genera un **sobrecoste aproximado de 8.620,63 Nm3 anuales** (3.550€/año).

Método de corrección:

Modificar la programación del funcionamiento de los calentadores será suficiente para corregir este gasto, para ello se debería reducir sus horas de funcionamiento o bien se podría instar al último de los trabajadores a apagarla manualmente.

Conclusión:

Este método de prevención de pérdidas DEBE tenerse en cuenta ya que produce un ahorro sin inversiones ni pérdidas colaterales.

Nota: Cálculos realizados en apartado “9.2 Funcionamiento de quemadores de gas/ventiladores en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos: Ubicado en L1”.

23 de junio de 2016

6.1.2 Humidificación del aire

Descripción:

Siempre que se desee **humidificar el aire de forma adiabática**, hay que aportar calor al aire para que este a su vez se lo transfiera a las partículas de agua y genere vapor que se mezcle con el susodicho. En el sistema actual, el aire tras pasar por los calentadores se humidifica, lo que genera una disminución de la temperatura, o lo que es lo mismo, una necesidad de sobrecalentar el aire en el calentador, lo que implica un gasto añadido de gas.

Por motivos de seguridad de los trabajadores y del correcto acabado de los automóviles reparados se humidifica el aire, la instalación fue diseñada para trabajar de forma adiabática al calentar en exceso el aire de ventilación para que de esta forma pueda ceder el calor absorbido a las partículas de agua de la cámara de humectación.

Se recuerda que el agua está en **ciclo abierto** por motivos de salubridad, ya que tener agua caliente en un ciclo cerrado aumenta considerablemente las probabilidades de formar cultivos de legionelosis si el rango de temperaturas del agua se encuentra entre 20C⁰ y 50C⁰ y tiene especial gravedad dado que es agua encargada de humidificar el aire de ventilación destinada a los trabajadores. De acuerdo al *“Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis”* en el cual se clasificarían en el *artículo 2_2_c → instalaciones con menor probabilidad de proliferación de Legionella: Humectadores*; sistemas de circuito abierto son mejores que sistemas en circuito cerrado en aspectos de salubridad.

Según los datos obtenidos en *“9.3 Humidificación del aire”* **la humidificación supone un gran gasto de Gas** pero la humidificación no se puede evitar ya que es de obligado cumplimiento, según la RITE el aire de trabajo debe oscilar entre los siguientes valores dependiendo de la época del año:

Estación	Temperatura operativa C°	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Tabla 2: RITE: Tabla 1.4.1.1 condiciones interiores de diseño

Sin embargo en el **sistema actual** existen partículas de agua que aun habiendo absorbido la energía del aire, no alcanzan el punto de evaporación, por lo que no ayudan a la humidificación del aire y se **pierde es energía**, es decir, se lanza un chorro de agua contra las paredes de la cámara de humectación con el fin de que parte de esa agua se rompa en partículas lo suficientemente pequeñas como para que les sea más fáciles absorber el calor y evaporarse, pero eso no significa que el resto de agua no absorba calor, de modo que se calentaría el agua para luego verterla sin llegar a aprovecharla.

23 de junio de 2016

Método de corrección:

Sea cual sea el método de humectación escogido va a haber un gasto en energía para humidificar el aire con el agua evaporada, pero se podría procurar que el consumo disminuyese si la energía aportada fuese lo más justa posible.

Un sistema más eficiente podría consistir en usar una **humidificación isotérmica** que consistiría en generar vapor primero (con un gasto energético) y luego mezclarlo con el aire de entrada de la ventilación, de este modo no se desperdiciaría energía, además el hecho de usar vapor directamente dificulta la aparición de enfermedades como la Legionella.

Otros sistemas de humidificación utilizaran menor cantidad de agua para evitar intercambios de temperatura que sean en vano, por ejemplo en vez de usar sistemas basados en chorro a presión usar **humidificador spray de aire comprimido y agua** (los de mejor calidad encontrados han sido de la empresa Condair, con modelos de capacidades de 60L/h o 600L/h, además, el modelo de 600L/h estaría disponible con control de encendido y apagado o con modulación de caudal de salida de 0-100% para un control de humedad de gran precisión, +/-2%RH).

Conclusión:

Como se verá en el apartado “9.3 Humidificación del aire” aun suponiendo que existe un gasto de gas en exceso para compensar la falta de humedad, al no disponerse de una medida de temperatura del agua antes y después de la humidificación ni tampoco la cantidad de agua empleada, **no se puede cuantificar esta suposición** por falta de datos, por lo tanto no se aportar una solución apropiada.

23 de junio de 2016

6.2 Mejoras en el consumo de Gas

6.2.1 Sustitución de combustible para quemadores actual (Gas Natural), por biocombustible.

Descripción:

Dado el elevado consumo de gas (**548.418 Nm³ anuales** equivalente a 6416,5Mw/año o 225860 €/año) se ha optado por estudiar otras vías para calentar el aire de ventilación, entre las cuales, la más interesante ha sido la sustitución del combustible actual (Gas natural) por biomasa.

Ventajas:

- Es **más barato** que cualquier combustible fósil. comparando con el actual, habría un diferencia entre 0,0325 €/Kwh utilizando biomasa a 0,0352 €/Kwh si se usa Gas Natural según los cálculos realizados en el apartado “9.5 cálculos: Sustitución de combustible para quemadores actual (Gas Natural), por biocombustible”.
- Los combustibles fósiles son limitados, lo que genera fluctuaciones de los precios y consecuentemente, su encarecimiento. La biomasa sin embargo son desechos que mantiene generalmente **un precio constante**.
- En España hay un gran **excedente de biomasa**, lo que favorece el precio de compra de este nuevo combustible
- En términos de contaminación, se **consideran emisores menores**, debido a que los contaminantes generados en su incineración se “compensan” con los absorbidos por las plantas cuando estaban vivas, además dependiendo del origen de la biomasa puede ayudar a prevenir incendios.
- Existen **subvenciones aplicables** por la sustitución de sistemas de combustibles tradicionales por los de biomasa de aproximadamente el 30% en Navarra ofertadas por el estado.

Inconvenientes:

- A diferencia del quemado de gas natural, la combustión de biomasa **genera cenizas**, las cuales pueden ser perjudiciales para los empleados y para el acabado en la pintura del vehículo.
- Rara vez se utiliza un calentador exclusivamente de biomasa, **generalmente se utilizan como fuentes de apoyo**.
- Sustituir los quemadores actuales supone un coste añadido a la instalación de los nuevos calentadores.
- El transporte de gas natural desde el suministrador hasta el consumidor se realiza mediante tuberías lo que evita dificultades de abastecimiento, no ocurre lo mismo con la biomasa, que debe de ser **trasladada mediante medios de transporte** para su posterior uso, lo que implica dos opciones, ninguna de ellas favorable:

23 de junio de 2016

- La primera sería hacer un **único y gran traslado de biomasa** a la fábrica donde se almacenaría y se usaría diariamente hasta reducir las existencias y para hacer nuevamente otra compra, sin embargo para aplicar este método **necesita de un lugar de almacenamiento**, lo que supone un gasto añadido.
- La segunda sería aplicar el método **JIT** (just in time), usado habitualmente en Volkswagen, de modo que se trajese cada día el combustible justo y necesario. Este método por otro lado crea una enorme **dependencia del rigor suministrador**, en caso de no hacer su entrega a tiempo se debería de parar la línea, lo que generaría enormes pérdidas, también tendría el inconveniente de la incomodidad y el coste de personal de hacer la carga de biomasa.

Conclusión:

Una vez realizado el estudio comparando las ventajas e inconvenientes se concluye con que **NO sería posible cumplir el tiempo de amortización de tres años** con el beneficio obtenido, teniendo que invertir en las nuevas instalaciones, los casos posibles estudiados (todos inviables) serían:

- **Sustitución completa de los calentadores:** Es el caso en el que el ahorro en combustible para la calefacción rondarían los 15.160 € al aplicarlo en las 3 líneas, sin embargo se ha de tener en cuenta el punto desfavorable mencionado de las cenizas, las cuales habría que evitar. Para ello una posible solución sería la **utilización filtros** como los empleados para la evitar el polvo en la ventilación, también existen otros sistemas de filtrados que no requieren de un obstáculo físico y por lo tanto no tiene un desgaste o acumulación de partículas como electro-filtros, estos requieren de un **mayor presupuesto y espacio**, el cual no se dispone.
Otro sistema para evitar cenizas en la ventilación sería instalar un sistema con **intercambiador de calor** para evitar que el flujo calentado (aire o agua generalmente) con cenizas se mezcle con el aire de ventilación para realizar así un intercambio de calor “limpio”, sin embargo implicaría un **coste añadido** más, y una reducción de la eficiencia, que según las eficiencias de los intercambiadores vistos (40%-60%). Este incremento de temperatura necesario para compensar las pérdidas del intercambiador además del coste de los equipos y su instalación hacen inviable esta opción.
- **Sustitución parcial de los calentadores:** Consistiría en usar la quema de biomasa para realizar un precalentamiento del aire de ventilación, este método aunque muy utilizados en muchas aplicaciones como por ejemplo climatización de piscinas, para la realización de este proyecto resulta inviable por conllevar las **mismas desventajas** de necesidad de eliminar cenizas mediante la instalación de otros aparatos, con su respectiva pérdida de eficiencia y coste y con un beneficio por ahorro de combustible menor que en caso de sustitución completa.

Nota: Cálculos realizados en apartado “9.5 Sustitución de combustible para quemadores actuales (Gas Natural), por biocombustible”.

23 de junio de 2016

6.2.2 Utilización de un intercambiador de calor entre el aire extraído del horno y el resto de líneas

Descripción:

Recordando: El horno consta de un **ventilador de impulsión (M6)** que introduce un flujo de aire del exterior previamente calentado en el quemador **IN3 de 4.000m³/h**, este aire sirve de barrera térmica y alcanza una temperatura de **80C⁰**. Dentro del horno hay un **ventilador (M4)** que se encarga de extraer aire el caliente (**48.000m³/h**) que se acumula en el interior del horno y lo recalienta en **IN2** para volver a expulsarlo dentro a mayor temperatura (**100C⁰**) además de otro **ventilador de extracción (M5)** con caudal de **7.900m³/h**, encargado de evitar el escape de calor hacia la nave por la introducción del aire de M6 (aunque teóricamente el caudal de M5 debería ser de 4000m³/h para conseguir un balance neto de flujos de 0, se sobredimensiona para evitar fugas de calor hacia el interior de la nave). También existen otros dos ventiladores a la salida del horno encargados de enfriar el vehículo al final del trayecto, **M7 introduce el aire frío y M8 lo extrae** (sus caudales son desconocidos, pero tampoco son de interés).

La mejora consistiría en utilizar el calor extraído por el ventilador M5 cuyo único propósito es el de crear un balance de caudales de aire pero cuyo efecto secundario indeseado extrae aire calentado. Para ello se emplearía un intercambiador de calor.

Ventajas de un intercambiador:

- Se **reaprovecha el coste del aire** que se ha tenido que calentar previamente.
- El usar un intercambiador **evita la mezcla de flujos de aire**, lo que evita que el aire de salida (contaminado y con partículas) se mezcle con el nuevo de entrada (limpio).
- Los intercambiadores **son modulares** lo que favorece su elección respecto al flujo de aire necesitado tanto de entrada como de salida.
- Están diseñados de modo que se les pueda incluir **diversos filtros de diferentes características según necesidades**.

Inconvenientes de un intercambiador:

- El rendimiento de los intercambiadores actuales oscilan generalmente entre **40%-60%**, por lo que el reaprovechamiento no es completo.
- Al usar el calor proveniente del horno cualquier sitio a donde se conecte mediante el intercambiador deberá tener el **mismo horario** que el funcionamiento del horno, el cual es actualmente de 6:00-15:00, es decir el mismo que L1. En caso de conectarlo a una línea que no tenga ese mismo horario se deberá de añadir un sistema de bypass para “cortar” el intercambio cuando no funcione el horno.

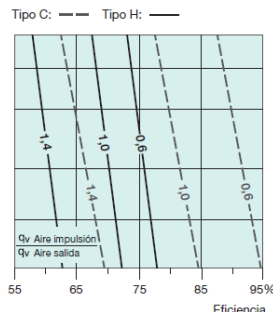
Conclusión:

Los únicos puntos donde se puede aprovechar calor son aquellos que poseen un aire más frío que el disponible (86C⁰ medidos) y que se desea calentar, dentro de la sección a estudiar son: la calefacción realizada para la adecuación de trabajo de los empleados, es decir en **L1** (M1 con 140.000m³/h), **L2** (M10 168.000m³/h), **Lsp** (M12 con 32.000m³/h) y el calentamiento realizado en el quemador de cortina (IN2) explicado anteriormente (M6 con 4.000m³/h). Los resultados de los cálculos han sido:

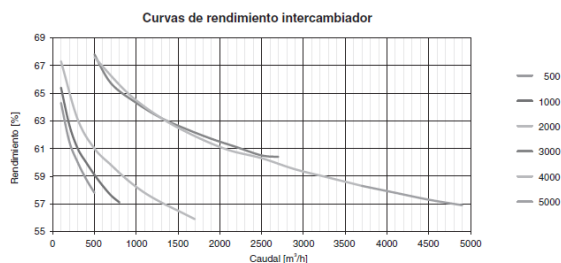
23 de junio de 2016

➤ Para la calefacción:

M1 (L1), M10 (L2), M12 (Lsp): Los fabricantes de intercambiadores suelen preparar **curvas de rendimiento** de sus intercambiadores en función del caudal frío y caliente de se puede conseguir el rendimiento sin necesidad de realizar cálculos. Ejemplos:



Gráfica: 1 Rendimiento para Intercambiadores de placas DVQ Systemair Modelos: DVQ-S 100-150, DVQ-H 100-150 y DVQ-C 10-50.



Gráfica: 2 Rendimiento para Intercambiadores de Flujos cruzados Salvador-Scoda S.A.

Sin embargo no hay fabricantes que hagan intercambiadores de tamaño generalmente superior a los 39000m³/h (catalogo CIAT: ISK - ICK / RSK - RCK 360 U), lo que se suele hacer en casos de caudales grandes como en estos casos en el de colocar varios módulos pequeños acoplados, lo cual divide tanto los flujos fríos como los calientes, en este caso no es conveniente ya que hay gran diferencia entre flujos lo que implicaría la necesidad de comprar varios módulos, con lo que se encarece el precio de compra e instalación y reduce el rendimiento del calor intercambiado.

➤ Para el quemador de cortina:

M6: A diferencia del resto de caudales, el requerido por los ventiladores de cortina tiene un **valor cercano** a la salida del Horno los módulos del intercambiador.

- Modelo CIAT: ISK - ICK / RSK - RCK 120 U
Tienen un coste total de 7.526€: 5.528€ (14.200m³/h) para el módulo M12 y 1.998€ (5.200m³/h) para el M5.
- Modelo SalvadorScoda: MU-RECO 6000 F6/F6; código: CL 41 929
Tienen un coste total de 4.974€ con un único aparato estándar de caudal 6.150m³/h.

De todas las opciones se considera que el mejor resultado sería utilizando el intercambiador en el quemador de cortina con el segundo modelo, con el cual se generaría un ahorro de **9.738,1 Nm³/año** (4.010€/año).

23 de junio de 2016

Otra posibilidad en vez de usar un intercambiador sería la de **reducir el caudal de salida** de 7900m³/h a un valor más cercano a los 4.000m³/h de entrada para acercarse a un valor de flujos de aire neto. En términos de consumo, la evacuación de aire caliente es de 23,42Nm³/h mientras que el consumo medio en el horno es de 30,74Nm³/h (18,62Nm³/h de consumo por la recirculación y 12,11Nm³/h por la cortina) por lo tanto **solo se aprovecha un tercio del calor generado**, reducir el caudal de salida del aire disminuiría el aire caliente expulsado lo que generaría un ahorro. No se ha realizado ningún estudio al respecto dado que no se conocen las razones o cálculos que se realizaron a la hora de dimensionar el horno y se considera que esa modificación queda fuera de las capacidades del presente proyecto.

Nota: Cálculos realizados en apartado “9.6 intercambiadores de calor”.

23 de junio de 2016

6.2.3 Desplazamiento de horario de trabajo Mañana → Tarde

Descripción:

Actualmente hay un **horario fijo de trabajo** de los empleados que se repite. La idea consiste en **desplazar los turnos de mañana a la tarde** aprovechando el incremento de temperatura natural que existe para ahorrar en consumo de Gas natural.

- Ventajas:
 - Se ahorra en gas sin **ninguna inversión**.
 - 6.581,7 Nm³/año (2.710€/año) cambiando horario de L1: de 6:00-15:00 a 14:00-23:00.
 - 206,1 Nm³/año (84,88€/año) en Horno.
 - 973,8 Nm³/año (400€/año) cambiando horario de Lsp: de 7:00-15:00 a 14:00-22:00.
 - 11.421 Nm³/año (4700€/año) en L1 si se considera lo especificado en “6.1.1 Funcionamiento de quemadores de gas en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos: Ubicado en L1”, es decir, cambiando horario de 6:00-14:00 a 14:00-22:00.
- Inconvenientes:
 - Implica cambiarle el turno a los empleados lo cual puede no ser posible según **los convenios** que se tengan.
 - Un cambio de turno puede acarrear un incremento del sueldo de los trabajadores.

Conclusión:

Existe la posibilidad de ahorrar en consumo de gas natural pero su implantación **depende de factores laborales**. La diferencia de ahorro en Lsp es pequeña y hay varios trabajadores, con lo que su cambio puede ser poco rentable, mientras que en L1 el ahorro es mayor y solo suele haber un trabajador a tiempo parcial.

Nota: Cálculos realizados en apartado “9.4 Desplazamiento de horario de trabajo Mañana → Tarde”.

23 de junio de 2016

7 Ahorro mediante modificaciones en el consumo eléctrico

Nota: Ahorros o cálculos se basaran en la potencia activa, se ignorara cualquier ahorro realizado con la potencia reactiva, ya que la fábrica cuenta con baterías de condensadores para compensarla.

7.1 Pérdidas en el consumo Eléctrico

Funcionamiento de ventiladores en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos: Ubicado en L1.

Descripción:

Al igual que en el caso estudiado de en “6.1.1” los **empleados trabajan en la línea L1 de 6:00 a 14:00**, esta vez, dado que los ventiladores se usan para disipar productos nocivos para el ser humano se deja un margen de 10 minutos con los ventiladores funcionando para su correcta disipación, de modo que el horario de trabajo pasaría a ser 6:00-14:10, sin embargo el **periodo de funcionamiento de los ventiladores sigue siendo hasta las 15:00**. Considerando que esta práctica se repite diariamente, genera un sobre coste aproximado de:

- Ventiladores M1, M2 y M2.1: 38.203,1 Kw/anuales (3.240€/año).
- Bomba envío M16 y Bomba humectación M3: 6281,2 Kw/anuales (530€/año).

Método de corrección:

En este caso, a diferencia del caso de 6.1.1 *pérdidas en el Gas de L1 por el horario prolongado hasta las 15:00*, existen **varios planteamientos** de corrección según las necesidades de los vehículos:

- 1- Se considera que de **14:00 a 14:10 es tiempo suficiente** para la disipación de posibles restos nocivos para la salud humana provenientes de la pintura de reparación y no se considera ningún otro factor más. Por lo que la solución constaría mediante programación reducir sus horas de funcionamiento para obtener el ahorro descrito anteriormente.
- 2- Al igual que en el caso anterior se considera que se necesita disipar durante más tiempo las partículas restantes de pintura hasta su entrada en el horno PERO para ahorrar energía se decide reducir la potencia utilizada en los ventiladores **mediante variadores**. De modo que se utilizaran de 14:00-15:00 pero reduciendo la potencia de los ventiladores.

23 de junio de 2016

Conclusión:

Estos métodos de prevención de pérdidas DEBEN tenerse en cuenta ya que se puede producir un ahorro sin inversiones ni pérdidas que oscila entre **44.484,4 Kw/año** (3.770€/año) hasta **48.228,7 Kw/año** (4.090€/año) dependiendo del caso escogido (caso 1 o 2 respectivamente).

Nota: Cálculos realizados en apartados “9.2 Funcionamiento de quemadores de gas/ventiladores en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos: Ubicado en L1” y “9.7.3 Reducción de consumo en periodos de descanso” para los casos 1 y 2 respectivamente.

23 de junio de 2016

7.2 Mejoras en el consumo Eléctrico

7.2.1 Utilización de variadores para reducción de consumo en periodos de descanso

Descripción:

Actualmente en cada turno de 8 horas de trabajo se realizan 2 descansos de aproximadamente 20 minutos y uno de 30 minutos en los que automáticamente se apagan las luces para reducir el consumo pero en los que no se apaga la maquinaria de ventilación por tratarse de aparatos de mucha potencia que, en caso de apagarse, aunque se ahorrarían algunos vatios, el **pico de corriente generado** en su reencendido anularía el beneficio, además de **reducir la vida útil** de las maquinas.

Método de corrección:

Como se dijo en el apartado de “4.1.2 ventajas variador”, estos aparatos **evitan los picos** de intensidad en los arranques evitando sobreesforzar a las maquinas mediante un **arranque más suave**, por lo que con este método, sí se podría detener su uso en periodos de descanso sin deteriorar los motores ni generar sobrecostes en el encendido. Se recomienda sin embargo dejar circulando un flujo de aire en vez de apagarlo ya que antes del turno de descanso se podría estar pintando los vehículos lo que implicaría que existe una necesidad de **disipar partículas de pintura** del ambiente y evitar que dicha pintura se transporte por otras corrientes de aire ajenas a zonas circundantes de la sección de pintura de la fábrica, ya que esta no cuenta con puertas u otros sistemas de retención de corrientes de aire.

Cabría entonces pensar que se debería dejar un tiempo tras el inicio del descanso en el que aun funcionen los ventiladores para disipar los restos de pintura y después apagarlos durante el tiempo libre restante, sin embargo hay que tener en cuenta que si se detiene el flujo de aire habría que detener la calefacción, al hacer esto se ahorraría en consumo de gas pero los conductos de **ventilación que transportaban el aire se enfriarían** por lo que al reencender el sistema de calefacción tras el periodo de descanso, habría que aportar un **calor extra** debido a un intercambio de calor entre el aire y los conductos que lo transportan hasta que ambos estén a la misma temperatura, es por ello que se decide reducir la potencia de los ventiladores en vez de apagarlos.

Otro punto de extrema importancia entre las ventajas de los variadores, y no tan evidente, es el **ahorro de gas** que generan cuando están en funcionamiento:

El caudal es la velocidad del fluido (aire en este caso) multiplicado por el área por el que circula

$$(\text{caudal} = V * A = \frac{m^3}{h})$$

Los variadores reducen la velocidad del aire pero el área (es decir, el diámetro de las tuberías por la que circula) es constante, de modo que se generara una reducción del caudal, lo que a su vez genera un menor consumo de gas, ya que el gas necesario para calentar un fluido depende (aparte de las propiedades del fluido) del caudal (*se comprueba en el apartado 9.6.2*).

La utilización de variadores en los descansos genera ahorros diferentes en las tres líneas debido a que tienen una cantidad de potencia consumida y horarios diferentes.

23 de junio de 2016

Consumo de potencia

Considerando periodos de **descanso + sin intervalo de 14:00-15:00** de L1 debatido en “7.1 *Funcionamiento de ventiladores en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos: Ubicado en L1*” como si no fuese periodo de descanso, es decir, como si no existiese ese tramo:

	Consumo actual en periodo de descanso Kw/día	Consumo con mejora en periodo de descanso Kw/día	Kw/día diferencia sin-con variador	Diferencia Kw/día
L1	301,7	15,91	285,8	1.112
L2	801,7	42,28	759,4	
Lsp	70,5	3,72	66,8	

Tabla 3 Diferencia de potencia requerida entre el consumo diario con y sin variador (sin incluir el periodo 14:00-15:00)

Considerando el periodo 14:00-15:00 de L1 (es decir, tiempo de descanso = descanso + 1h):

	Consumo actual en periodo de descanso ⁷ Kw/día	Consumo con mejora en periodo de descanso ⁷ Kw/día	Kw/día diferencia sin-con variador	Diferencia Kw/día
L1	527,9	27,84	500,1	1.311,3
L2	801,7	42,28	759,4	
Lsp	54,7	2,88	51,8	

Tabla 4 Diferencia de potencia requerida entre el consumo diario con y sin variador (incluyendo el periodo 14:00-15:00)

Consumo de Gas

El ahorro en consumo de gas que proporciona la reducción del caudal de aire en los **periodos de descanso** es:

- L1=35 Nm³/día (sin considerar el periodo de 14:00-15:00, ese ahorro está incluido en el apartado 6.1.1)
- L2= 146,72 Nm³/día
- Lsp= 10,22 Nm³/día

Conclusión:

Con este sistema se ahorrarían entre 250.200-295.042 Kw/año (21.200-25.000 €/año) dependiendo de lo que se considere oportuno y 43.146 Nm³/año (17.770 €/año)

Nota: Cálculos realizados en apartados “9.7.3 Reducción de consumos en periodo de descanso”

23 de junio de 2016

7.2.2 Utilización de variadores para reducción de consumo en periodos de trabajo

Descripción:

En el tiempo de prácticas en VW Navarra se planteó la posibilidad de disminuir el consumo **reduciendo ligeramente la velocidad** de funcionamiento de las maquinas, debido a que cualquier bajada de Rpm genera un ahorro en forma cubica en la potencia como ya se demuestra en el apartado “9.7.2 Reducción de potencia con la velocidad de aire de ventilación”.

Desarrollo:

Se propuso pues, pasar del 100% de velocidad (0,4m/s) al 87,5 de la velocidad nominal (0,35 m/s) el 50% del tiempo de funcionamiento en intervalos por ejemplo de 15 minutos, porque se consideró que el impacto en los trabajadores y vehículos seria mínimo y se generaría un ahorro del consumo eléctrico de:

- L1: 64.340,4 Kw/año (5.450 €/año).
- L2: 135.027,3 Kw/año (11.440 €/año).
- Lsp: 13.090,2 Kw/año (1.110 €/año).

Un total de 213.066,8 Kw/año (18.010€/año) y un ahorro total aproximado de 57.200 Nm3/año (23.560€/año).

Sin embargo tras ver la información del “*libro blanco para la reducción de residuos y emisiones- Aplicación de pintura en carrocerías*” mencionada en el apartado “4.4 Velocidad del aire de los ventiladores”, se concluyó que no era posible.

Conclusión:

No es realizable el usar una reducción de velocidad siempre y cuando haya vehículos que se estén pintando, por motivos de salud, es necesario el funcionamiento nominal de los ventiladores. Al tratarse de un trabajo en “cadena” la llegada de automóviles y su pintado es ininterrumpido, lo que no da cabida al uso de variadores en las líneas L1 y L2, sin embargo Lsp no funciona como una cadena, su uso es fluctuante y no continuo, habiendo días en los que trabaja todo el turno y otros en los que no se introduce apenas aparatos en la cabina para su pintado, por ello, aunque no se pueda reducir la velocidad mientras se está pintando, se puede reducir cuando no.

Mediante la observación se estima que el 40% del tiempo total de trabajo puede ser un valor aceptable para el uso de variadores en Lsp, es decir, se trabajaría a potencia nominal el 60% del tiempo (excluyendo descansos), lo que generaría un ahorro de:

- 30.030 Kw/año (2.545€/año)
- 4.600 Nm3/año (1.900€/año)

Nota: Cálculos realizados en apartados “9.7.4 Reducción de consumos en periodo de trabajo.

23 de junio de 2016

7.2.3 Optimización del enfriamiento de vehículos a la salida del horno mediante variador

Descripción:

Los vehículos calentados en el hornos se enfrían mediante M7 y M8 (ventiladores de impulsión y extracción respectivamente) para que los operarios puedan conducirlos y ubicarlos en nuevos sitios. Estos ventiladores funcionan de 6:00 a 15:00 de forma ininterrumpida lo cual sería optimo si hubiese un **flujo constante** de vehículos para acortar el periodo de trabajo, pero no es así. Los operarios pueden tardar más o menos en preparar un automóvil lo que, al transportarse mediante una cinta transportadora de velocidad constante, **genera “huecos”** entre coches por lo tanto los ventiladores están enfriando huecos vacíos.

Método de corrección:

La idea de mejora consiste en **reducir la potencia de estos ventiladores en esos instantes**, para ello se requerirá instalar, a parte de los variadores con la características ya mencionas, un sistema de detección de vehículos que avise al sistema digital de encendido y apagado de los variadores cuando activarse y cuando no.

Conclusión:

Existe la **posibilidad de cumplir** la amortización, pero no por ello signifique que lo haga. El **coste del variador seria de 3.700€** mientras que el ahorro posible estaría en un rango de **0€ y 1.631,5€** (es decir, entre no amortizarse o hacerlo en 2 años y 3 meses).

NO se recomienda usar este sistema al menos hasta que se pueda garantizar un flujo constante de vehículos a una distancia superior a 6,2 metros entre sí.

Además, otro de los resultados obtenidos en el *apartado 9.7.5* es que, en caso de que sea posible un control total de la distancia de separación entre os automóviles, se recomienda olvidar el tema de los variadores y juntar la reparación de vehículos lo máximo posible para así terminar el turno cuanto antes y poder detener el funcionamiento de las maquinas.

A continuación se cuantificará los beneficios de conseguir repintar en el menor espacio posible los automóviles (**esta parte es independiente de variadores** y únicamente dependiente de la gestión)

Actualmente si todos los vehículos se prepararan seguidos dejando una separación de 2 metros entre ellos el turno terminaría pasadas 5,7h en vez de 9h siempre que la cinta siga desplazándose a 0,45m/s, por lo que se ahorrarían 3,3h de trabajo actual del horno y 2,3 de la línea de grandes reparaciones (considerando que ya se ha aplicado el apartado 9.2 en el cual ya se ha eliminado la hora sobrante de 14:00-15:00).

De modo que de empezar en su horario habitual de 6:00, terminarían sobre las 11:45, lo cual generaría un ahorro de:

23 de junio de 2016

- 19,85% y 28,7% **del consumo total** de gas y eléctrico respectivamente en L1
- 35,6% y 36,6% **del consumo total** de gas y eléctrico respectivamente en Horno.

Equivalente a:

- L1: 459,91Nm3/semana (20.695,8 Nm3/año o 8520€/año)
- L1: 237,25Kw/h (122.776,9 Kw/año o 10400€/año)
- Horno: 493,1Nm3/semana (22.189,4 Nm3/año o 9140€/año)
- Horno: 70,5/Kw/h (52.346,25 Kw/año o 4440 €/año)

A modo de comparación, si se convierte el tiempo de trabajo en desplazamiento recorrido por los vehículos L1 tiene un rendimiento del 63,4% de lo máximo posible mientras que el de la línea de pequeñas reparaciones es de 98,5% de lo máximo posible

Como se puede comprobar el rendimiento de L2 roza la perfección, mientras que el de L1 es bastante mediocre tal y como se ha visto antes con el consumo mejorable.

Nota: Cálculos en “9.7.5 Reducción de la potencia en la refrigeración de la salida del horno”.

23 de junio de 2016

7.2.4 Sustitución de iluminación actual por luminarias de menor consumo (Led)

Descripción:

Revisión final de VW Navarra está en una nave cubierta sin aberturas al exterior que permitan que pase luz al interior, por lo que necesita y **utiliza iluminación artificial**. Actualmente hay un consumo de:

- L1: 9.400 Kw/año (800€).
- L2: 53.500 Kw/año (4.500€).
- Lsp: 17.400 Kw/año (1.500€).

Método de corrección:

Se ha planteado la posibilidad de sustituir el sistema actual de iluminación (fluorescentes: MASTER TL-D Xtra Polar 58W/840 T12 SLV 27,02€/Ud) por **tubos Led de bajo consumo** (los mejores encontrados han sido los proveídos por la empresa Greenice de características:

- GR-T8RDDG23W-CW-O → 23W y 2300 lm por 18,02€
- PCE-GRGD03-1500-CW → 22W y 2200 lm por 11,8€.

Conclusiones:

En el apartado de “9.8 iluminación” se ha especificado el procedimiento, pero los resultado han esclarecido que la mejor opción de ambos tubos es PCE-GRGD03-1500-CW, con el cual se han obtenido los siguientes resultados:

Método 1

NO es rentable la *sustitución de fluorescentes por tubos Led*. La razón es que a pesar de que consumen el 40% de potencia, iluminan aproximadamente la mitad, lo que implica poner el doble de tubos, sumando además que la vida útil de los fluorescente es de 36000h frente a las de los Led que es de 30000h, la amortización requeriría en algunos casos incluso más tiempo la vida útil de los tubos, por lo que NO se amortiza.

Nota: como se especificó en “4.4 Iluminaciones Led”, realmente la vida útil de los Leds superaría las 30000h ya que al exceder ese tiempo no se detiene su funcionamiento abruptamente como lo hacen los fluorescentes, sino que empieza a deteriorarse paulatinamente. Pero se considera que un deterioro, al no estar cuantificado, puede suponer que no cumpla con los requerimientos necesarios.

Método 2

La siguiente forma de intentar viabilizar el uso de Leds, ha sido la de ***reemplazar los fluorescentes cuando estos dejen de funcionar***, de modo que el coste del Led suponga la diferencia de precio entre los dos sistemas de iluminación y no el precio integro. Con este cambio la vida de funcionamiento de los tubos no termina antes de su amortización, y se amortizarían en un periodo inferior a 3 años.

23 de junio de 2016

Pero debido a que es necesaria la duplicidad de tubos, también lo es de portalámparas que los soporten, por lo que habría que comprar uno por cada tubo nuevo añadido, reduciendo el beneficio, lo que haría inviable la amortización para el caso de L1 y Lsp (se recuerda que tienen un número de horas de funcionamiento inferior a L2) y aunque seguiría siendo viable para el caso de L2, el beneficio es pequeño (820€/año por sustituir toda la línea L2) y como además habría que considerar los gastos de instalación, posiblemente no cumpliría la amortización. Por lo tanto como resultado final se concluye que **no es viable la sustitución** de ninguna de las maneras posibles la iluminación mediante fluorescente por iluminación Led.

Como **conclusión** se puede decir que a día de hoy no se recomienda la sustitución por iluminación Led en ámbito industrial ya que es una tecnología en desarrollo y aunque avanza considerablemente rápido, en la actualidad aun no es suficientemente rentable como para sustituir o cambiar una instalación ya diseñada, pero si es interesante su aplicación en una nueva y de muchas horas de funcionamiento.

Nota: Cálculos en “9.8 Iluminación”.

23 de junio de 2016

8 Resumen y amortizaciones

REFERENTE A GAS							REFERENTE A ELECTRICIDAD									
	Casos	Medidas tomadas	viabilidad	Maquina necesaria	Modelo tipo	inversión €	Ahorro Nm3/años		Casos	Medidas tomadas	viabilidad	Maquina necesaria	Modelo tipo	inversión €	Ahorro Kw/años	
Perdidas	A	Uso innecesario de quemadores de gas en L1 (14:00-15:00)	Posible	Ninguna	-	Ninguna	8.620,63		H	Uso innecesario de ventiladores en L1 (14:00-15:00)	Posible	Ninguna	-	Ninguna	44.484,40	
	B	Humidificación de aire	No concluyente	-	-	-	-		I-1	Utilización de variadores: Periodos de descanso	Posible	Variador de frecuencia	(Var1)	Misma F-1	112.522,50	
	C	Sustitución Gas Natural por biocombustible (L1+L2+L3sp)	no posible	Instalación Biomasa	-	-	36.822,55		I-2		Posible	Variador de frecuencia	(Var1)	Misma F-2	64.305,00	
	D	Intercambiador de calor entre Horno y Cortina	Posible	Intercambiador	MU-RECO-6000 CL41 939	4.974,00	9.738,10		I-3		Posible	Variador de frecuencia	(Var2)	Misma F-2	170.865,00	
Mejoras	E-1	Desplazamiento de horario de trabajo Mañana > Tarde	Posible	Ninguna	-	Ninguna	6.581,70		I-4		Posible	Variador de frecuencia	(Var3)	Misma F-3	15.030,00	
	E-2		Posible	Ninguna	-	Ninguna	11.421,00		J	Utilización de variadores: Periodos de trabajo (Lsp)	Posible	Variador de frecuencia	(Var3)	Misma F-3	30.030,00	
	E-3		Posible	Ninguna	-	Ninguna	206,10		K	Utilización de variadores: Ventiladores de enfriamiento del horno	No concluyente	Variador de frecuencia	Altivar 61 ATV 61HD37M3X	4.488,00	-	
	E-4		Posible/No compensa	Ninguna	-	Ninguna	973,80		L	Sustitución Fluorescentes por tubos Leds	Posible/No compensa	Tubos Led y derivados	T8 de Vidrio 1500mm Apertura 300º 22W 2200lm	-	9.459,46	
	F-1	Utilización de variadores: periodos de descanso	Posible	Variador de frecuencia	Variador Powerflex 753 456A. 250Kw. IP00. EMC (±Var1)	22.194,00	7.875,00									
	F-2		Posible	Variador de frecuencia	Variador Powerflex 753 367A. 200Kw. IP00. EMC (±Var2)	18.549,00	33.012,00									
	F-3		Posible	Variador de frecuencia	Altivar 61 Kw UL tipo 12/IP54 con filtro CEM clase A integrado (±Var3)	7.293,00	2.300,40									
	G	Utilización de variadores: Periodos de trabajo (Lsp)	Posible	Variador de frecuencia	(Var3)	Misma F-3	4.660,00									

Tabla 5 Resumen de resultados

23 de junio de 2016

Partiendo de que el consumo total de las líneas actualmente es:

	Consumo actual total		Coste actual		
	Nm3/año	Kw/año	€/año (Nm3)	€/año (Kw)	€/año (Total)
L1	104.245,0	489.827,3	42.932	41.513	84.445
L2	364.808,3	1.058.400,0	150.243	89.699	239.942
Lsp	22.099,9	120.510,0	9.102	10.213	19.315
Horno	62.249,1	142.762,5	25.637	12.099	37.736

Tabla 6 Consumo total anual de las líneas en la actualidad

Los ahorros viables con su respectivo coste económico y su amortización son los siguientes:

										AMORTIZACIÓN ESTIMADA			DÍAS TOTALES
Caso	Afecta a línea	Maquina necesaria	% de ahorro de Nm3	% de ahorro de Kw	Inversión €	Diferencia Nm3/año	Diferencia Kw/año	equivalente aprox. €/año		AÑOS	MESES	DÍAS	
incompatibles entre si	A	L1	-	8,27	-	Ninguna	8.620,63	-	3.550,32	-	-	-	inmediata
	D	Horno	Intercambiador	15,64	-	4.974,00	9.738,10	-	4.010,54	1	2	17	279,05
	E-1	L1	-	6,31	-	Ninguna	6.581,70	-	2.710,61	-	-	-	inmediata
	E-2	L1	-	10,96	-	Ninguna	11.421,00	-	4.703,62	-	-	-	inmediata
incompatibles entre si	(F-1)+(I-1)	L1	Variador	7,55	22,97	22.194,00	7.875,00	112.522,50	12.779,52	1	8	16	390,75
	H	L1	-	-	9,08	Ninguna	-	44.484,40	3.770,05	-	-	-	inmediata
	(F-1)+(I-2)	L1	Variador	7,55	13,13	22.194,00	7.875,00	64.305,00	8.693,09	2	6	12	574,44
incompatibles entre si	(F-2)+(I-3)	L2	Variador	9,05	16,14	18.549,00	33.012,00	170.865,00	28.076,47	0	7	18	148,65
	(F-3)+(I-4)	Lsp	Variador	10,41	12,47	7.293,00	2.300,40	15.030,00	2.221,19	3	3	8	738,76
	(F-3)+(I-4)+G+I	Lsp	Variador	31,50	37,39	7.293,00	6.960,40	45.060,00	6.685,41	1	1	2	245,45

Tabla 7 Casos viables, su coste, el beneficio que generan y su amortización

- Nota: En la tabla 7 los "Casos" con el mismo color (a excepción del negro) son incompatibles entre sí, tal y como se indica.
- Nota2: Se adjuntan estas tablas en anexos: resultados finales.
- Nota3: No se incluyen los costes de instalación en la amortización.
- Nota4: La amortización está basada en los días laborables (225 al año).

Se recuerda que la explicación y conclusión de cada una de las mejoras mencionadas en las tablas 5 y 7 están descritas en:

6. ahorro mediante modificaciones en el consumo de gas.

7. ahorro mediante modificaciones en el consumo eléctrico.

Se concluye pues que, de forma general, las ideas viables que cumplen con lo requerido son:

- **Utilización de variadores en las tres líneas (L1, L2, Lsp) (Apartados 7.2.1 y 7.2.2).**
- **Eliminar periodos en los que se consume energía innecesariamente (Apartados 6.1.1 y 7.1).**
- **Utilización de un intercambiador en el Horno (Apartado 6.2.2).**
- **Desplazar los turnos de mañana al turno de tarde cuando sea posible (Apartado 6.2.3).**

23 de junio de 2016

9 Cálculos

9.1 Consideraciones comunes a todos los cálculos:

1- Motores de bombas y ventiladores de la Sección de Pintura de Revisión Final:

Zona	Instalación asociada	Elemento Accionado	Marca	Modelo	Potencia nominal (kW)	r.p.m.
PINTURA	IMPULSION AIRE	G. REPARACIONES. M1	SIEMENS	1LAG 283-4AA70-Z2810M	90	1450
PINTURA	EXTRACCION AIRE	G. REPARACIONES. M2A	SIEMENS	1LAG 253-4A A60 250 MT	55	1480
PINTURA	EXTRACCION AIRE	G. REPARACIONES. M2B	SIEMENS	1LAG 253-4A A60 250 MT	55	1480
PINTURA	HUMECTACION	G. REPARACIONES.BOMBA 3	SIEMENS	1LA 5163-4CA60	11	1455
PINTURA	RECIRCULACION	G. REPARACIONES. M4	SIEMENS	1LA 6207 4AA 70-Z200L	5,5	1450
PINTURA	EXTRACCION AIRE	G. REPARACIONES. M5	SIEMENS	1LA 5130-4CA60	5,5	1450
PINTURA	CORTINA AIRE	G.REPARACIONES. M6	SIEMENS	1LA 5130-4CA60	5,5	1450
PINTURA	IMPULSION AIRE	G.REPARACIONES. M7	LEROY SOMER	S180 MT-T	18,5	1460
PINTURA	EXTRACCION AIRE	G.REPARACIONES. M8	SIEMENS	1LAS 1551 CA	11	1460
PINTURA	CORTINA AGUA PINTADO	G.REPARACIONES BOMBA 16	AEG	AM180L0404	22	1460
PINTURA	EXTRACCIÓN AIRE	INTERIORES. M9	SIEMENS	1LA 6280 4AA70	75	1480
PINTURA	IMPULSION AIRE	INTERIORES. M10	SIEMENS		110	
PINTURA	HUMECTACION	INTERIORES.BOMBA 11	MEB	3Ph 160 L-4	15	1460
PINTURA	IMPULSION AIRE	SPOT REPAIR. M12	SIEMENS	1LA 2136-4AA60	22	1460
PINTURA	EXTRACCION AIRE	SPOT REPAIR. M13	SIEMENS	1LA 2183	18,5	1465
PINTURA	HUMECTACION	SPOT REPAIR. BOMBA 15	SIEMENS	1LA 71-3...	7,5	1455
PINTURA	CADENA TRANSPORTE	G. REPARACIONES REDUCTORA	SEW-EURODRIVE	K47DT80N4/BMG/HF/TF/IS	0,75	1380
PINTURA	CADENA TRANSPORTE	INTERIORES REDUCTORA	SEW-EURODRIVE	KAF106R72DT80N4TF	0,75	

Tabla 8 Características de bombas y ventiladores de la Sección de Pintura de Revisión Final

23 de junio de 2016

- 2- Se considerara en todos los cálculos (a menos que se especifique lo contrario) que se trabaja con los siguientes **horarios**:
- En la línea de grandes reparaciones (L1): 9h diarias
 - En el Horno: 9h diarias
 - En la línea de pequeñas reparaciones (L2): 24h diarias
 - En la línea Sport-Repair (Lsp): 8h diarias (2 de cada 3 semanas) y 15h diarias (1 de cada 3 semanas), a lo que es lo mismo 10,33h de media para simplificar.
- 3- El ahorro anual, se calcula únicamente considerando los periodos laborales, lo que supone **45 semanas laborales al año** (315 días) de las cuales restando los fines de semana en los cuales se supone no se trabaja, restarían a **225 días laborables al año**.
- 4- El precio proporcionado del Gas natural y de la electricidad es de 0,0352 €/Kw y 0,08745 €/Kw respectivamente.
- 5- Cabe mencionar que el gas empleado en los calentadores es Gas Natural (Nm3) y que el precio que aporta la empresa para el cálculo de amortización está en Kwh, de modo que es necesaria la conversión de Nm3 a Kwh, para lo cual se han utilizado datos obtenidos de suministradoras (si bien diferentes calidades de Gas hace que estos valores no sean completamente exactos, pero se aproximan).

**IBERDROLA**
GAS NATURAL:
UNIDADES, TARIFAS Y PEAJES
UNIDADES DE ENERGÍA Y EQUIVALENCIAS
UNIDADES ENERGÉTICAS

	kWh	termias	kcal	MJ	MMBtu	therms
1 kWh	1	0,86	860	3,6	$3,41 \times 10^{-3}$	$34,1 \times 10^{-3}$
1 termia (1)	1,163	1	1.000	4,186	$3,97 \times 10^{-3}$	$39,7 \times 10^{-3}$
1 kcal	$1,163 \times 10^{-3}$	10^{-3}	1	$4,186 \times 10^{-3}$	$3,97 \times 10^{-6}$	$39,7 \times 10^{-6}$
1 MJ (2)	0,278	0,239	238,9	1	$0,948 \times 10^{-3}$	$9,48 \times 10^{-3}$
1 MMBtu (3)	293,1	252	252×10^3	$1,055 \times 10^3$	1	10
1 therm	29,31	25,2	$25,2 \times 10^3$	105,5	0,1	1

(1) Termia o thermie: Puede aparecer como te o como th, confundiendo con therm

(2) MJ: Megajoule

(3) MMBtu: Millones de Btu

EQUIVALENCIAS ENTRE COMBUSTIBLES

	M tep	M boe	TWh	bcm	bcf	M tec
1 M tep (1)	1	7,623	11,628	1,111	41,389	1,429
1 M boe (2)	0,131	1	1,525	0,146	5,429	0,187
1 TWh (3)	0,086	0,656	1	0,096	3,559	0,123
1 bcm (4)	0,9	6,861	10,465	1	37,3	1,286
1 bcf (5)	0,024	0,184	0,281	0,027	1	0,035
1 M tec (6)	0,7	5,336	8,140	0,778	28,973	1

M = Millones

(1) tep / toe: tonelada equivalente de petróleo / *tonne of oil equivalent* = 10 M kcal PCI

(2) boe / bbt: barril equivalente de petróleo = 159 litros (para una densidad del crudo Brent de 0,825 kg/litro)

(3) TWh = 10^9 kWh(4) bcm = 10^9 Nm³ (referido a un gas con PCI = 9.000 kcal/Nm³ y PCS = 10.000 kcal/Nm³)(5) bcf = 10^9 f³ (pie cúbico), medido en condiciones estándar (15°C y 1 atm)

(6) tec: tonelada equivalente de carbón (referido a carbón de 7.000 kcal/kg PCI)

Tabla 9 Conversión de unidades energéticas según Iberdrola

23 de junio de 2016

De Iberdrola obtenemos que 1Kwh equivale a 860 Kcal de gas natural y que el PCI del gas natural es 9000Kcal/Nm³, por lo que se obtiene que:

$$\frac{\frac{860Kcal}{1Kwh}}{\frac{9000Kcal}{Nm^3}} = \frac{860Nm^3}{9000Kwh} \rightarrow 10,465 \frac{Kwh}{Nm^3}$$

Es decir, que considerando el **PCI cada Nm³ equivale a 10,465 Kwh** y el **PCS 11,627 Kwh**.



GAS NATURAL - FACTORES DE CONVERSION DE UNIDADES (*)								
A: (multiplicar por)	GNL		GAS			ENERGÍA (**)		
	t (tonelada métrica)	m ³	bcm	m ³ (n) (0°C)	sft ³ (60 °F)	MWh	Mbtu	tep
t (GNL)	1	2,320	1,3459 x 10 ⁻⁵	1345,92	50,238 x 10 ³	15,747	53,7320	1,3540
m ³ (GNL)	0,4310	1	0,5801 x 10 ⁻⁵	580,14	21,655 x 10 ³	6,788	23,1604	0,5836
bcm	742,9835 x 10 ³	1,7237 x 10 ⁶	1	1 x 10 ⁹	37,326 x 10 ⁹	11,700 x 10 ⁶	39,922 x 10 ⁶	1,006 x 10 ⁹
m ³ (n)	0,7430 x 10 ³	1,7237 x 10 ³	1 x 10 ⁹	1	37,326	0,01170	0,0399	1,006 x 10 ³
sft ³	0,0199 x 10 ³	0,0461 x 10 ⁻³	0,027 x 10 ⁻⁹	0,0268	1	0,3134 x 10 ⁻³	1,0695 x 10 ⁻³	26,952 x 10 ⁻⁶
MWh	0,0635	0,1473	85,470 x 10 ⁻⁹	85,470	3.190,27	1	3,4121	0,0860
Mbtu	0,0186	0,0432	25,049 x 10 ⁻⁹	25,049	934,976	0,2931	1	0,0252
tep	0,7385	1,7134	0,9940 x 10 ⁻⁵	994,017	37,103 x 10 ³	11,6300	39,6832	1

(*) Los valores de la tabla son aproximados, ya que dependen de la composición del gas natural.

(**) Valores referidos al PCS. Valor adoptado para el gas natural 11,70 kWh/m³(n).

Tabla 10 Conversión de unidades energéticas según Unión Fenosa

Sin la realización de ningún cálculo, se obtiene que por cada Nm³ se obtengan **11,7 Kwh (con PCS)**, es por ello que se comentaba que la calidad del Gas tiene variaciones, como se ha comprobado Iberdrola y UFG tiene para una misma cantidad de metros cúbicos de gas diferente eficiencia energética.

En las tablas se hace referencia al PCI y PCS que son dos tipos de poder calorífico:

- **PCS (Poder calorífico superior)**= Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y, por consiguiente, se tiene en cuenta el calor desprendido en este cambio de fase.
- **PCI (Poder calorífico inferior)**= Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua generado en la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor. Es el valor que interesa en los usos industriales, por ejemplo hornos o turbinas, en los que los gases de combustión que salen por la chimenea o escape están a temperaturas elevadas, y el agua en fase vapor no condensa.

A la hora de prever la cantidad de Gas Natural necesario para una aplicación concreta se utilizara el PCI, pues el gas útil excluyendo las pérdidas, sin embargo el gas comprado (y pagado) no es el útil sino el total incluyendo lo no aprovechable, es decir el PCS. Por lo tanto de ahora en adelante se considerara que **1Nm³=11,7Kwh**.

23 de junio de 2016

9.2 Funcionamiento de quemadores de gas/ventiladores en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos: Ubicado en L1.

Se ha observado que si bien el horario de trabajo de los operarios de la línea de grandes reparaciones es de 8h empezando a las 6:00, tanto los ventiladores como los quemadores (consumo eléctrico y de gas) se detienen aproximadamente a las 15:00 lo que supone que trabajan 9h diarias. La novena hora es a causa del tiempo de secado del vehículo en el horno (la longitud del horno es de 32,3 metros y la cinta que transporta a los vehículos se mueve a una velocidad de 0,45m/s, por lo que tarda 72 minutos el último coche pintado en hacer el recorrido dentro del horno, de ahí sale la hora de más), pero carece de sentido el que lo haga el resto de aparatos no relacionados con el horno es decir, los relacionados con el pintado, ya que la hora final de pintado son las 14:00, por lo que no se requiere disipar pintura ni mantener temperatura de trabajo agradable para trabajadores a partir de esa hora.

A continuación se muestra la diferencia entre el consumo actual y el consumo una vez eliminado ese gasto en exceso.

Consumo medio de L1:

- Consumo original L1 6:00-15:00: 2.316,56 Nm³/semana
- Consumo modificado L1 6:00-14:00: 2.124,99 Nm³/semana
 - Diferencia: 191,57 Nm³/semana (8.620,65 Nm³/año).

Nota: Datos en anexo “Consumo de Gas original L1 2015 en función de temperatura Meteo, el método de cálculo empleado fue el explicado en el apartado 9.6.2”.

Por otro lado la ventilación también está activa, esto es:

- M1-Ventilador de Impulsión: 93,75 Kw/h
- M2-Ventilador de extracción: 55Kw/h
- M2.1-Ventilador de extracción 2: 55Kw/h
 - 848,95 Kw/semana (38.203,12 Kw/año)

Además de las dos bombas de la línea, la de humectación (M3) y la de recogida de residuos (M16) de pintura:

- M3-Bomba Humectación: 11 Kw/h
- M16-Bomba Residuos: 22,5Kw/h
 - 139,58 Kw/semana (6.281,25 Kw/año)

Lo que hace que, uniendo el consumo de todos los aparatos que actualmente funcionan pero que no deberían, se genere un consumo en exceso de:

- 8.620 Nm³/año (3.550€/año).
- 44.484,4 Kw/año (3.770€/año).

En horario de 14:10-15:00, es decir casi durante una hora diaria. El eliminar este consumo no tiene contraprestaciones salvo modificar la programación actual.

23 de junio de 2016

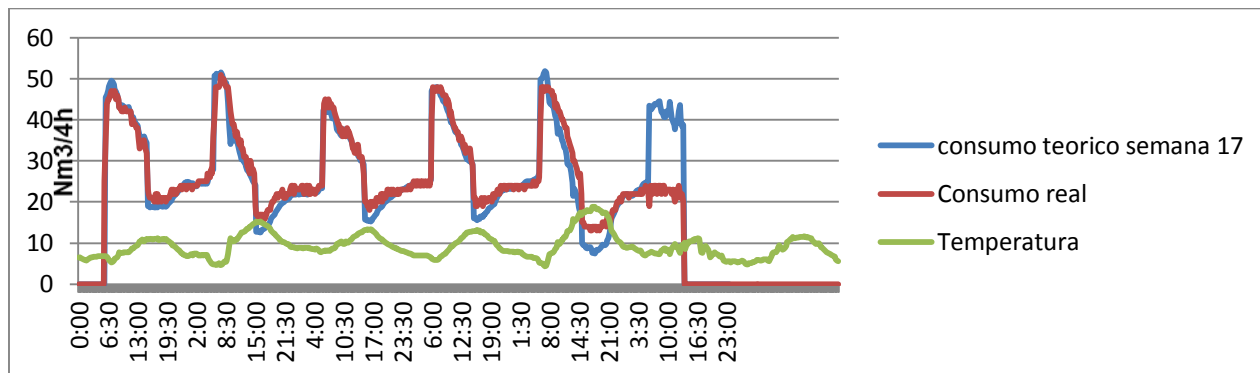
9.3 Humidificación del aire

Al calentar una masa de aire la humedad relativa de este aire disminuye, mientras que al enfriarlo aumenta. Este hecho es de importancia para este apartado.

En la instalación actual se calienta el aire exterior para corregirlo a condiciones ambientales de trabajo adecuadas, al hacerlo la humedad relativa disminuye, lo que a su vez obliga a encender humidificadores para volver a aumentar la HR, estos humidificadores a su vez absorben parte del calor del aire para evaporar el agua de los chorros de la cámara de humectación.

Relación entre Humedad relativa exterior y consumo de gas

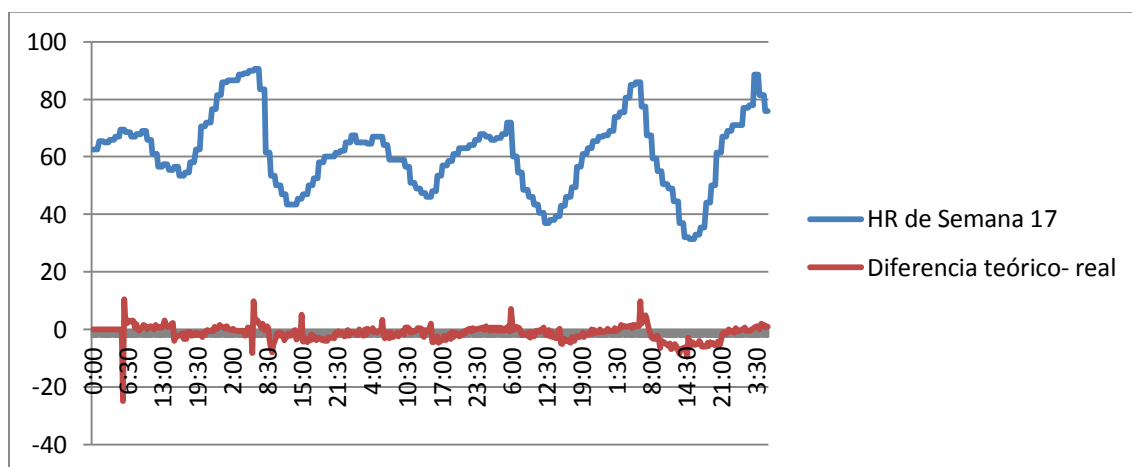
En el proyecto presente se quiso tener en cuenta la HR y se realizó un estudio para comprobar como afectaba al consumo de gas natural en los quemadores, para ello se contó con la medición de HR realizada por Meteo Navarra durante el intervalo entre las semanas 15 hasta la 18 y se comparó con la diferencia entre el valor de consumo de gas Nm³ teórico con el consumo real medido, a modo de ejemplo se muestra los datos obtenidos en la semana 17:



Gráfica: 3 Comparación entre consumo teórico y real de líneas L1 y L2 en semana 17

Nota: se recuerda que la diferencia del último día (sábado) se debe al funcionamiento especial de las líneas y por ello existe esa diferencia, la cual NO se considerará para el siguiente punto.

Nota2: Los sistemas utilizados para hallar el comportamiento teórico del consumo de gas se verán en el apartado 9.6 Intercambiadores de calor

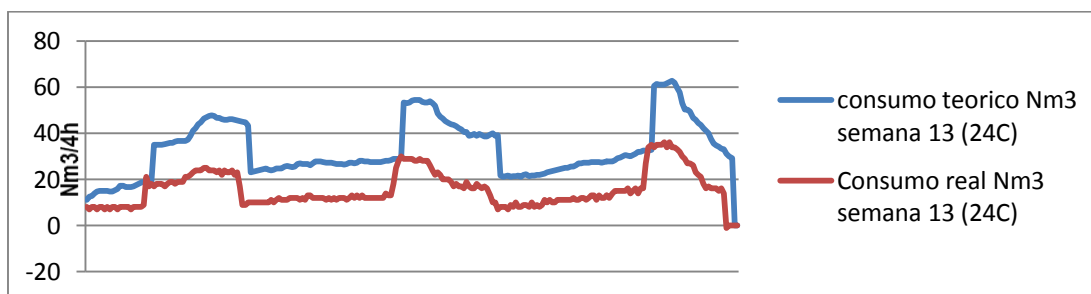


Gráfica: 4 Diferencia entre consumo teórico y real de líneas L1 y L2 en semana 17

23 de junio de 2016

El resultado fue que no se veía apenas ningún tipo de relación, si es cierto que parece que al aumentar la humedad se incrementa la diferencia, pero los datos obtenidos **no son decisivos** ya que la variación es muy pequeña y las medidas tomadas de HR fueron hechas a kilómetros de distancia de la fábrica.

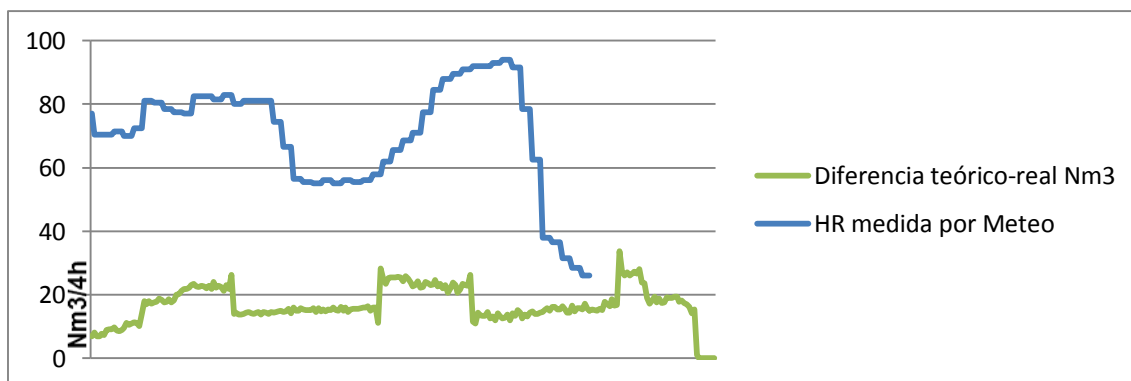
Tal y como se verá en el “*apartado 9.6.2 cálculo de utilización de gas mediante ecuaciones teóricas de comportamiento del aire*”, la temperatura a la que se desea elevar el aire de ventilación es de $21,5\text{ C}^0$ mientras que el gas empleado en condiciones ideales es el equivalente al necesario para elevarlo a 24C^0 aproximadamente, es por ello que esa diferencia corresponde, entre otras razones, a **perdidas térmicas** en las cuales se incluyen las generadas por la **humectación**. A continuación se mostrara una gráfica en la que se compara el consumo teórico de la semana 13 equivalente a 24 C^0 , con el consumo de esa misma semana pero sin poner en funcionamiento los humectadores.



Gráfica: 5 Comparación entre el consumo teórico para calentar el aire a 24 C y el consumo medido cuando la humectación estaba apagada.

Estos datos prácticos son debidos a que en la semana 13 se desconectaron los humectadores debido a una **fuga de agua** (desde las 5:00 del jueves hasta la 13:00 del sábado), por lo que se disponen de aproximadamente 3 días de datos para analizar, en los que se puede observar como el consumo real se reduce a 20Nm^3 cuando debería haber consumo de 40Nm^3 y a 15 cuando debería haber un consumo de 30 (aproximadamente), lo que supone pues una reducción del 50% del consumo.

A continuación se intenta comparar la diferencia con la HR medida por la estación de Meteo Navarra ubicada en la UpNa para intentar averiguar la relación entre la humedad exterior respecto al consumo cuando no hay que aportar una humidificación de forma forzada.



Gráfica: 6 Relación entre la diferencia de consumo teórico respecto del real $\text{Nm}^3/4\text{h}$ y la humedad medida por Meteo Navarra.

23 de junio de 2016

Según los datos obtenidos **no se aprecia ninguna relación** (se recuerda que los “picos” en el consumo se deben a que funciona L1+L2 en vez de únicamente L2). Claro está que, dado que solo se disponen de datos de los quemadores que abarcan únicamente 3 días, y que la medida de HR fue realizada con una estación meteorológica distante de la zona de interés (Volkswagen Navarra), no se pudo concluir que los datos portados sean correctos y por lo tanto el resultado de este análisis es que no resulta concluyente al no poder asegurar si realmente la humidificación supone el 50% del consumo de gas o un valor similar.

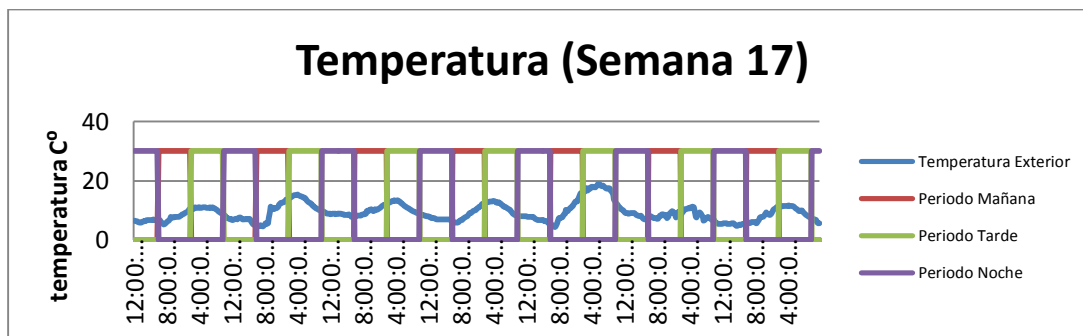
La única conclusión fiable tal y como se mencionó en el apartado “6.1.2 Humidificación del aire” es que convendría limitar el uso de agua al justo y necesario para humidificar y así intentar reducir el consumo, puesto que el gasto de gas en la humidificación es elevado.

Al no poder saber el agua utilizada en la humectación, el porcentaje de la misma que aun elevando su temperatura no ayuda a humidificar el aire o que porcentaje del consumo total consume el humidificar el aire, **este apartado se dejara solo como punto de interés.**

23 de junio de 2016

9.4 Desplazamiento de horario de trabajo de Mañana a Tarde

Mediante el desplazamiento de los turnos de trabajo se puede ahorrar gas, esto es debido a que el gas, al depender de la temperatura ambiente externa, si se trabaja en horarios donde la temperatura es superior, requiere menor consumo de combustible para la calefacción. A modo de visualización:



Gráfica: 7 Ejemplo de desarrollo de temperaturas a lo largo de la semana

Como se puede ver de forma general, en el periodo de mañana la temperatura empieza a ascender partiendo de un valor bajo hasta **alcanzar un máximo entrada la tarde** para después volver a descender, siendo el valor medio de la tarde superior al de la mañana.

De este modo considerando los periodos de funcionamiento de las líneas:

- Horario L1 Actual: 6:00-15:00
- Horario L1 modificado: 14:00-23:00
- Horario Lsp Actual: 7:00-15:00
- Horario Lsp modificado: 14:00-22:00
- Horario Horno Actual: 6:00-15:00
- Horario Horno modificado: 14:00-23:00

El consumo medio semanal de las líneas es:

- Consumo original semanal L1: 2.316,56 Nm³.
- Consumo modificado semanal L1: 2173,3 Nm³.
 - Diferencia semanal: 143,26 Nm³ (6.581,7Nm³/año).
- Consumo original semanal Lsp: 380,34 Nm³.
- Consumo modificado semanal Lsp: 358,7 Nm³.
 - Diferencia semanal: 21,64 Nm³ (973,8Nm³/año).
- Consumo original semanal H: 1.383,31 Nm³.
- Consumo modificado semanal H: 1.378,73 Nm³.
 - Diferencia semanal: 4,58 Nm³ (206,1Nm³/año).

23 de junio de 2016

Nota: Datos en anexo “Desplazamiento Horario”.

Nota2: Para poder hacer este cálculo se ha usado los valores de temperatura medidos por Meteo navarra del 2015.

Nota 3: L2 no tiene modificación alguna porque su rotación no le afecta al trabajar 24h al día.

Las cifras podrían aumentar considerando la reducción de horario de L1 de 15:00 a 14:00 explicado en *los puntos 7.1 y 6.1.1*, esto es debido a que la nueva hora reducida desplazada (14:00-22:00 en vez de 14:00-23:00) eliminaría una hora en el periodo más frío de la tarde, por lo que al retirarla se ahorraría más gas, además la hora que se retiraría del horario actual reducido (14:00-15:00) es de las más cálidas por lo que la diferencia le favorece aún más, quedando como resultado:

-Horario L1 Actual hipotético: 6:00-14:00

-Horario L1 modificado hipotético: 14:00-22:00

- Consumo original semanal L1: 2123,9 Nm3.
 - Consumo modificado semanal L1: 1870,1 Nm3.
- Diferencia semanal: 253,8 Nm3 (11421Nm3/año).

- Resto de consumos (L2, Lsp, Horno) iguales.

Si se analizan los datos de consumo calculados semanalmente existe un dato importante a tener en cuenta (considerando L1 de 6:00-14:00 y 14:00-22:00):

Consumo Original Nm3 medio en semana de “x” mes												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
L1	3284,3	3626,5	3314,4	2638,5	1221,2	1331,7	506,3	606,2	1339,2	1981,5	2399,3	3250,8
L2	11912,4	12857,3	11812,2	9358,5	5429,2	5658,3	2741,8	3016,8	5510,2	8239,8	8716,7	12029,0
Lsp	657,1	726,3	657,1	508,7	155,7	185,1	25,1	45,0	179,3	337,4	437,6	649,5
Horno	1424,6	1435,0	1425,4	1403,8	1352,1	1358,4	1316,9	1324,8	1358,7	1381,5	1395,1	1423,5
% Consumo	12,00	12,95	11,96	9,66	5,67	5,93	3,19	3,47	5,83	8,29	9,00	12,06

Consumo Modificado Nm3 medio en semana de “x” mes												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
L1	3063,7	3153,5	2931,6	2181,5	937,3	1276,5	340,8	419,1	1086,4	1916,6	2008,6	3125,6
L2	11912,4	12857,3	11812,2	9358,5	5429,2	5658,3	2741,8	3016,8	5510,2	8239,8	8716,7	12029,0
Lsp	634,2	654,8	604,0	432,6	151,8	206,5	18,1	38,4	156,0	366,9	393,1	648,4
Horno	1421,3	1424,1	1416,9	1393,3	1348,3	1361,0	1312,9	1318,6	1353,3	1384,2	1387,8	1423,0
% Consumo	12,12	12,87	11,93	9,51	5,60	6,05	3,14	3,41	5,77	8,47	8,90	12,25

23 de junio de 2016

	Diferencia Modificado Nm3 medio en semana de “x” mes											
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
L1	220,6	473,0	382,7	457,0	284,0	55,2	165,5	187,1	252,8	64,9	390,7	125,1
L2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lsp	22,9	71,5	53,1	76,1	3,9	-21,3	7,0	6,7	23,3	-29,5	44,6	1,1
Horno	3,2	10,8	8,5	10,5	3,8	-2,6	4,0	6,2	5,4	-2,8	7,3	0,6
% Consumo	7,31	16,47	13,17	16,12	8,65	0,93	5,23	5,93	8,35	0,97	13,12	3,76

Tabla 11 Consumos de Gas Natural en función de las temperaturas registradas en 2015 por Meteo Navarra en horario actual, rotando el turno de trabajo y su diferencia

Temperaturas Medias											
enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Media Mañana											
7,32	4,90	7,46	10,42	17,87	18,03	23,82	21,78	17,54	13,52	11,47	6,67
Media Tarde											
8,55	7,29	9,63	12,65	19,43	17,92	25,60	23,78	19,31	14,74	13,15	7,36
Media Noche											
5,61	3,45	5,31	8,56	12,66	13,72	17,73	17,08	13,57	9,97	9,15	5,25

Tabla 12 Temperaturas medias de cada mes de 2015 medidas por Meteo Navarra

Lo que se pretende mostrar con estos últimos datos es que **este método tiene pérdidas** en el caso de que la temperatura media de la mañana sea cercana a la de la tarde y si en el turno de mañana ya estaba incluido el periodo **14:00-15:00**, ya que tiene especial relevancia porque se trata del **punto de inflexión de la temperatura** diaria, es por ello que se deberá dentro de lo posible evadir esa franja horaria en el movimiento en meses con temperaturas estables.

La utilización de esta técnica de ahorro, aunque no requiere de elementos añadidos y aparentemente es de simple implementación (si bien tiene muchas variables posibles), se basa en la redistribución de horarios de los empleados y aunque técnicamente es viable podría no serlo si se consideran factores humanos como indisponibilidad o incremento del sueldo por cambio de turnos, pero no se considera parte del proyecto considerar esos factores.

23 de junio de 2016

9.5 Sustitución de combustible para quemadores actuales (Gas Natural), por biocombustible.

El biocombustible al tratarse generalmente de desechos tiene un **precio bajo** en comparación a otros combustibles comerciales como el gas natural:

	Pellet EN-Plus A1	Hueso de aceituna limpio y seco	Cáscara de almendra triturada	Astilla de pino G50
PCI	4.200 kcal/kg	3.900 kcal/kg	3.700 kcal/kg	3.200 kcal/kg
Humedad	6%	12%	15%	20%-30%
Suministro sacos	0,230 €/kg	0,180 €/kg	0,170 €/kg	
Suministro big-bags	0,220 €/kg	0,165 €/kg	0,155 €/kg	
Suministro granel	0,230 €/kg	0,150 €/kg	0,140 €/kg	0,080 €/kg

Tabla 13 Precios de empresa “3calor” con garantía de suministro

Nota: Precios sin IVA.

Nota: Valores de PCI.

Nota2: Precios sin transporte para el suministro en sacos y big-bags. Precios con transporte incluido para el suministro a granel (en el caso del pellet con camión neumático).

Se escoge suministro a granel de cascara de almendra triturada por considerar que la relación Kcal/kg (3.700) junto con el precio (0,14€) y el volumen ocupado (500kg/m³) son los mejores. Considerando que 1Kwh equivalen a 860 Kcal se obtiene que la cascara tiene un rendimiento de: 4,3Kwh/kg lo que supone un precio de 0,0325 €/Kwh.

Actualmente se necesita una **media de 12.187 Nm³ semanales** para abastecer las líneas con quemado de gas natural, esto equivale a 127538 Kw semanales de gas. Conseguir esta energía con el sistema de biomasa costaría **4.152€ frente a los 4.489€** que cuesta el gas natural lo que generaría un ahorro de 337€ semanales que anualmente se traducirían en 15.165€ (36.822,55 Nm³). Sin embargo conllevaría una utilización de 29.660Kg a la semana o lo que es lo mismo en volumen **11,86 m³ al día**.

Nota2: Consumo medio semanal de Gas natural en Anexo “Desplazamiento Horario”.

Además aunque no se disponga de un presupuesto para la instalación, se tiene constancia de presupuestos, por ejemplo:

Recientemente (2010), la Unió de Pagesos, con la colaboración de la Fundación Biodiversidad, ha elaborado un Manual de energías renovables dedicado a la biomasa, en el que se incluyen algunos casos prácticos de este tipo de instalaciones. Por ejemplo, para una granja que quiera sustituir su caldera de gasoil por una de biomasa de 580 KW y que se alimente de astilla, el coste de la instalación ascendería a 85.000 euros; aplicando una subvención del 30% el coste final se quedaría en 59.500 euros. La actual necesidad sería de 1,9Mw en los picos de consumo por lo que es fácil suponer que el coste será mayor, si en 3 años el ahorro es como máximo de 45486€ (15165*3) se comprueba que no es rentable, además de que incluye problemas con la dependencia de distribución del suministrador que actualmente no hay con el gas natural y una necesidad de mejora de filtrado para evitar cenizas en el ventilación.

Por ellos se concluye que este cambio **no es viable**.

23 de junio de 2016

9.6 Intercambiadores de calor

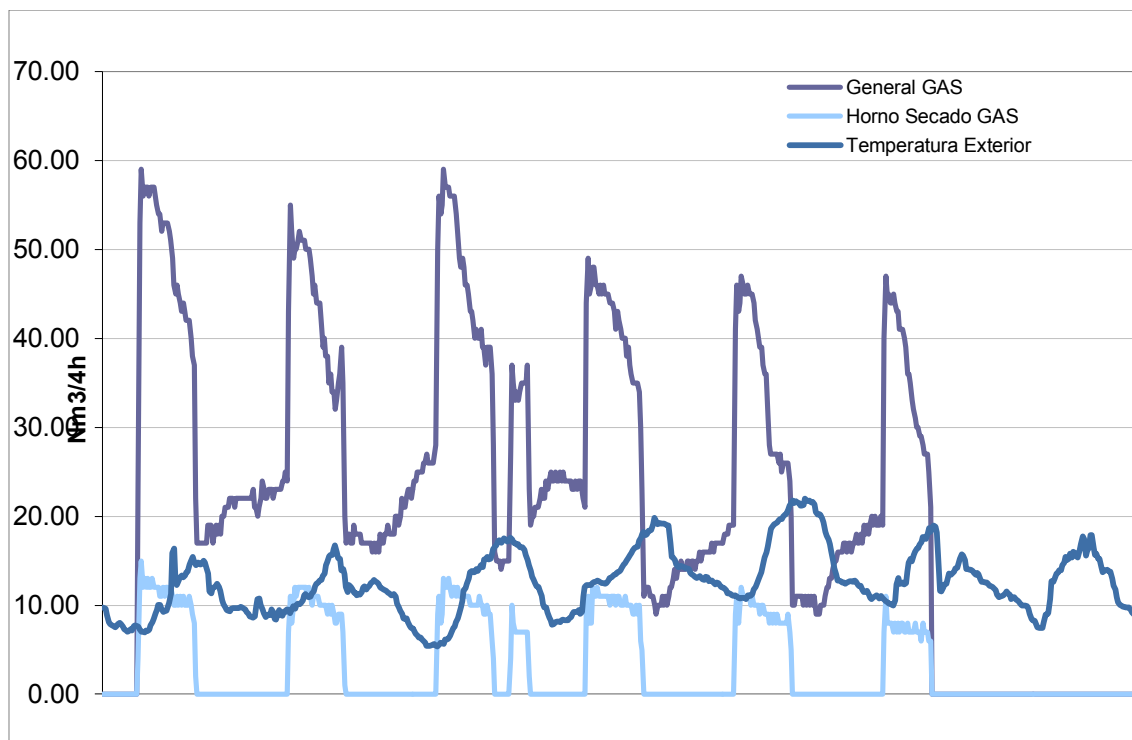
VW Navarra dispone de 2 contadores para ver el consumo de gas natural empleado, mostrando el consumo cada cuarto de hora 24 horas al día, 7 días a la semana:

Uno de ellos mide los metros cúbicos empleados en calentar el aire impulsado del exterior posterior a la humectación de línea de grandes reparaciones (L1) y de pequeñas reparaciones (L2) más el empleado en Sport Repair y el horno que se encuentra en L1, es decir TODO el consumo de gas, y el otro contador mide la suma del empleado en Sport Repair junto con el horno que se encuentra en L1.

También se dispone de una medición de temperatura exterior realizada por un termómetro.

Nota: VW Navarra tiene un sistema de trabajos que se clasifica en semanas, a las cuales se les pone un número cronológico, los datos obtenidos empezaron en la “semana 8”.

Ejemplo de grafica de consumo obtenida en la semana 15



Gráfica: 8 Ejemplo de datos proporcionados semanalmente por Volkswagen Navarra

El funcionamiento habitual de las líneas es el siguiente:

- L1: Horario de funcionamiento de 6:00-15:00 de lunes a viernes.
- H: Horario de funcionamiento de 6:00-15:00 de lunes a viernes (mismo que L1 ya que trabajan a la vez).
- L2: Horario de funcionamiento de 6:00-6:00 de lunes a sábado.
- Lsp: Horario de funcionamiento de 7:00-15:00 de lunes a viernes.

23 de junio de 2016

Se aprecia en la *gráfica 8* que el funcionamiento se repite cada día pero hay excepciones que han ocurrido prácticamente cada semana de recogida de datos, las cuales se catalogan como:

- 1) Anomalías de funcionamiento: Por ejemplo el pico de consumo del miércoles debido a un encendido de sport repair en un horario anormal que no le correspondía.
- 2) Cambios de temperatura: como se observa según aumenta la temperatura exterior el consumo de gas disminuye y viceversa.
- 3) Carga añadida de trabajo: Como se puede ver en la gráfica también se está trabajando de 6:00-14:00 el sábado, esto se debe a un horario especial que se ha implementado durante unos meses pero NO es el horario habitual.

El objetivo necesario para poder cuantificar cualquier tipo de posible ahorro es el de conocer de antemano el consumo que habrá de gas, para ello, ya que se conoce los horarios en los que va a funcionar cada línea y se van a omitir funcionamientos poco habituales o no continuos como el caso 1) y 3) solo falta hallar un método para compensar el caso 2), para ellos se han empleado dos métodos de cálculo: mediante “**dispersión**” y/o “**ecuaciones teóricas de comportamiento del Gas**” los cuales se muestran a continuación, en los apartados 9.6.1 y 9.6.2 respectivamente.

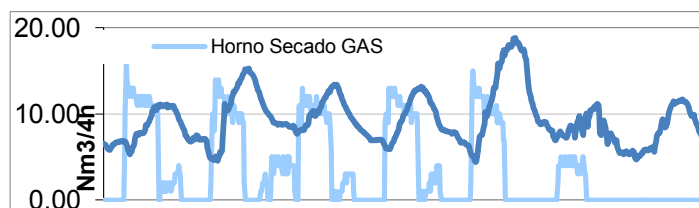
23 de junio de 2016

9.6.1 Cálculo de utilización de Gas Natural mediante dispersión

Es un medio de obtención del comportamiento del gas que utiliza únicamente los datos recogidos de consumo por los contadores y el termómetro. El procedimiento consiste en comparar los valores de consumo de gas con el de la temperatura del exterior considerando que hay periodos en los que algunas líneas funcionan y otros en los que no. De este modo con la información de horarios especificada anteriormente se separan los horarios en los que se deben sacar diferentes ecuaciones ya que hay diferentes líneas activas.

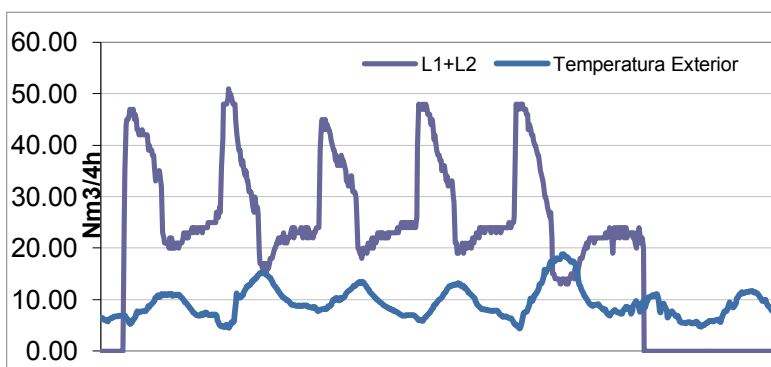
Se puede inicialmente restar los valores del segundo contador (**Horno y sport repair**) a la gráfica con todas las medidas de los contadores para obtener únicamente una gráfica con el **consumo de L1 y L2** de modo que facilite la obtención de las ecuaciones:

Horno + Sport repair (semana 17)



Gráfica: 9 Consumo de Sport Repair (Nm3/4h) + Horno y temperatura registrada (C°)

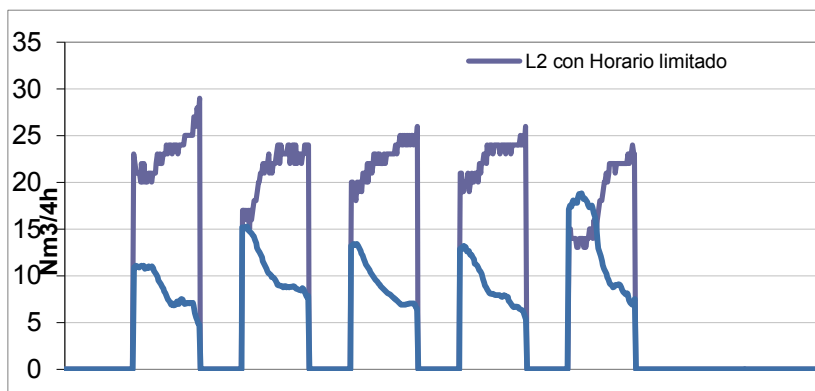
L1+L2 (semana 17)



Gráfica: 10 Consumo de Líneas de grandes y pequeñas reparaciones (Nm3/4h) y temperatura registrada (C°)

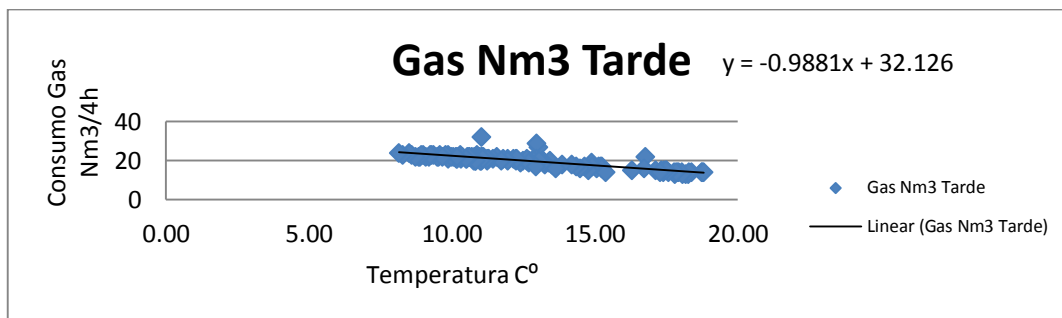
Ahora que se disponen separados y si se considera el horario de funcionamiento de las líneas aportado antes, se pueden crear intervalos en los que se tenga en cuenta la temperatura y el consumo, de esta forma en la gráfica L1+L2 se puede hallar la **ecuación de funcionamiento de L2** si se analiza el periodo en los que no funciona L1 es decir de 15:00 a 6:00.

23 de junio de 2016



Gráfica: 11 Consumo y medidas de temperatura únicamente en periodo de funcionamiento de L2

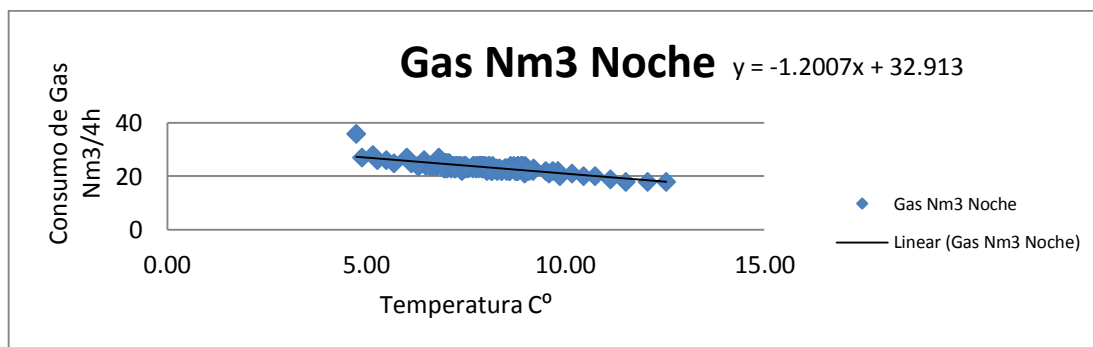
Ahora se puede obtener la **ecuación general del funcionamiento de L2** a lo largo de toda la semana mediante Excel introduciendo los datos de gasto de gas natural respecto la temperatura exterior en C° para obtener dos nuevas graficas de tipo dispersión para los **turnos de tarde y de noche** con las cuales se puede conseguir una línea de tendencia lineal (observando la gráfica obtenida y para evitar complicar los resultados se asemeja a una ecuación lineal).



Gráfica: 12 Datos de dispersión de consumo de metros cúbicos de gas cada cuarto de hora en el turno de tarde y en función de la temperatura

Nota: donde “x” se refiere a la temperatura exterior en C°.

Nº Lecturas: 140



Gráfica: 13 Datos de dispersión de consumo de metros cúbicos de gas cada cuarto de hora en el turno de noche y en función de la temperatura

Nota: donde “x” se refiere a la temperatura exterior en C°.

Nº Lecturas: 160

23 de junio de 2016

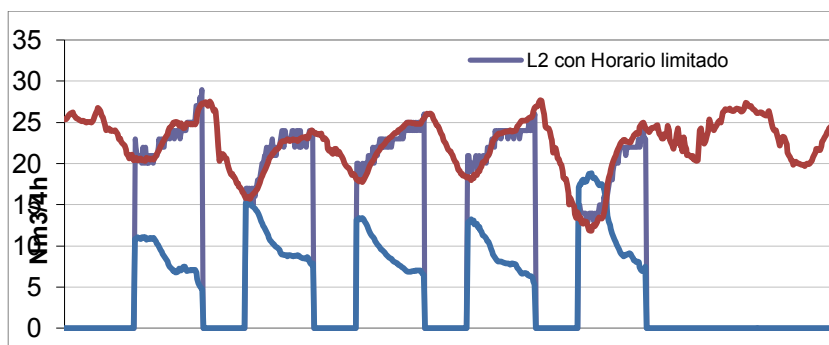
Nota: se podría unir los turnos en uno solo ya que corresponden al mismo tipo de maquinarias en funcionamiento, pero se prefiere dejar por separado para apreciar posible irregularidades en las semanas.

Además se deben de tener en consideración el **número de puntos analizados**, en este ejemplo existe una diferencia de 20 puntos, lo que equivale a 5h de diferencia debido a que durante los 5 días laborales el turno de L1 trabaja 1 h de más por lo tanto no puede aparecer en las gráficas de L2.

Más adelante se unen las ecuaciones obtenidas cada semana para lo cual se tiene en consideración las horas de muestreo usadas a modo de ejemplo, si solo existiesen las dos vistas anteriormente la ecuación final se obtendría:

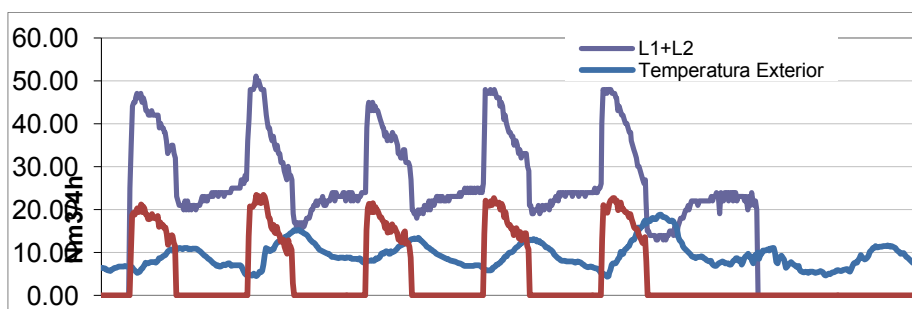
$$\begin{aligned}
 &\text{ecuacion funcionamiento L2 de la semana 1} = \\
 &[(-0,9881x) + 32,126] * \frac{140}{160 + 140} + [(-1,2007x) + (32,913)] * \frac{160}{160 + 140} = \\
 &= [-0,4611x + 14,9919] + [-0,6403x + 17,5534] = \\
 &= -1,1015x + 32,5454
 \end{aligned}$$

Una vez obtenida la ecuación de funcionamiento de L2 se comprueba su exactitud comparándola con el consumo real:



Gráfica: 14 Gráfica 12 con comportamiento teórico de consumo de gas de L2 mediante ecuación obtenida por dispersión

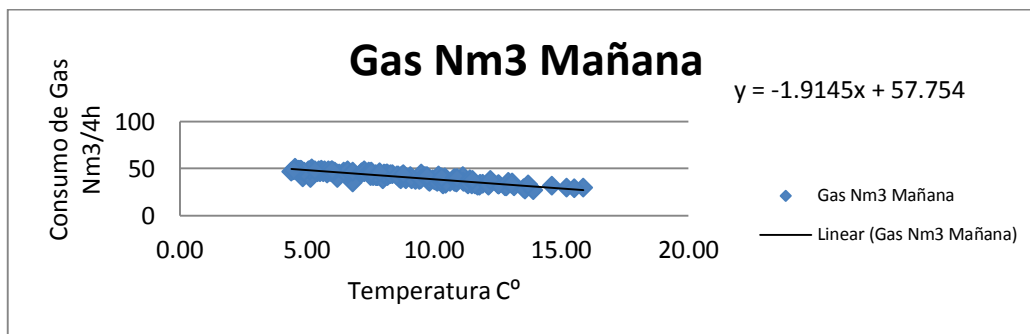
Como se puede observar es una aproximación decente. El siguiente paso es **restar este comportamiento de L2 a los horarios en los que coinciden L1 y L2** para así obtener únicamente el **comportamiento de L1 aproximadamente**:



Gráfica: 15 Consumo de L1 teórico

23 de junio de 2016

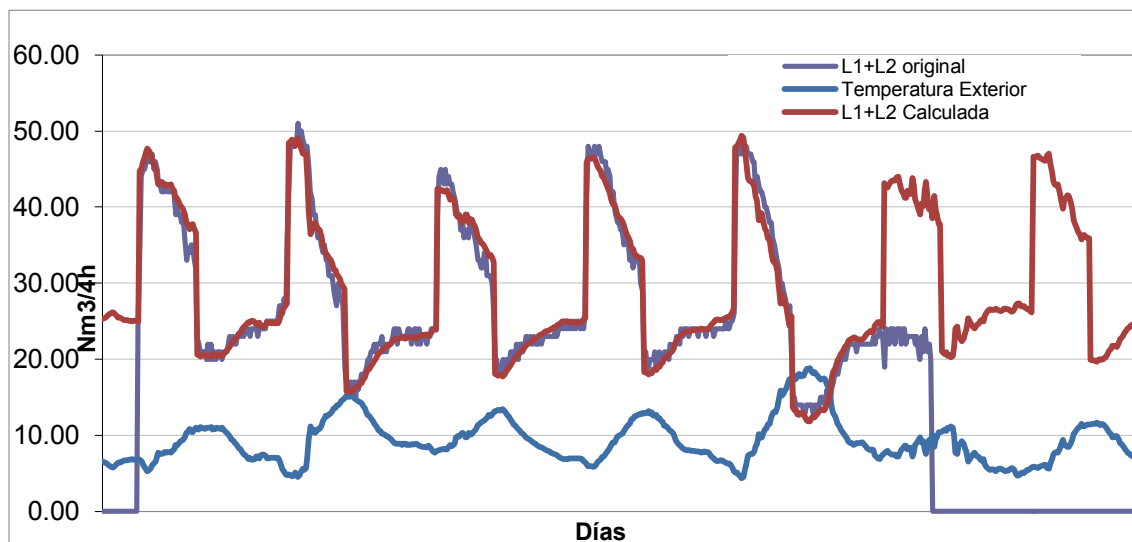
Para nuevamente extraer una tendencia lineal que muestre el comportamiento del consumo de gas en función de la temperatura exterior:



Gráfica: 16 Consumo teórico del periodo de mañana

Nota: donde "x" se refiere a la temperatura exterior.

De esta forma se puede comparar el consumo real medido con el consumo teórico calculado para ver la exactitud de toda la semana y por lo tanto de la exactitud de las ecuaciones halladas:



Gráfica: 17 Comprobación de similitud entre ecuación hallada y datos medidos iniciales

Como se puede observar coinciden casi en su totalidad (cabe destacar que el sábado L1 no trabaja y el domingo y el lunes antes de las 6:00 no se trabaja, esto explica los puntos que no coinciden).

La metodología para hallar el funcionamiento del Horno y de Sport repair es la misma, con la salvedad de que el **funcionamiento de Sport repair es algo particular**, siempre trabaja de mañana, pero tiene otro turno que rota cada semana, por ejemplo la semana 8 tiene turno trabajaba de tarde, la semana 9 turno de mañana por lo que el consumo es el habitual de las mañanas ya que los dos grupos comparten lugar de trabajo y la semana 10 tiene turno de noche en el cual además no se encienden la ventilación y por lo tanto no hay consumo de gas, tras esto el ciclo se repite.

23 de junio de 2016

Por ello se concluye con que solo con una de cada 3 semanas se puede conseguir el comportamiento de Sport repair para después poder usar la misma metodología que en el caso de las líneas L1 y L2 para hallar las ecuaciones correspondientes.

Además existe **otro inconveniente** aparte de la espera para obtener los datos deseados y es que al ser un consumo tan pequeño (alrededor de 3Nm³/4h) la capacidad de medición deja mucho que desear, ya que no es lo mismo, hipotéticamente hablando un consumo de 100Nm³/h con ± 2 de error que uno de 5Nm³/h ± 2 .

Las ecuaciones obtenidas con 9 semanas de datos fueron:

L1	-1,011*T	24,840 (cte.)
L2	-0,918*T	30,903 (cte.)
Lsp	-0,391*T	6,585 (cte.)
H	-0,103*T	8,865 (cte.)
recirculación	0,000*T	6,224 (cte.)
cortina	-0,103*T	2,641 (cte.)

Tabla 14 ecuaciones obtenidas mediante dispersión con datos de la semana 8 a la 17

Nota: El consumo del Horno se divide en el calentador de cortina y el de recirculación, la variación que puede ocurrir debido a la temperatura del exterior solo puede afectar al calentador de cortina ya que la recirculación siempre coge aire ya calentado a una temperatura concreta constante y lo eleva otra temperatura también constante.

Si se observan los resultados se ve hay algo extraño en ellos, y es que la temperatura máxima a partir de la cual los calentadores ya no necesitan un aporte de gas es:

	C ⁰ Máximo	C ⁰ deseado	incoherencia
Temperatura Max L1	24,569	21,5	no
Temperatura Max L2	33,647	21,5	no
Temperatura Max Lsp	16,825	21,5	-4,675
recirculación	-	-	
cortina	25,749	80	-54,251

Tabla 15 Temperatura máxima teórica en la que se apagan los quemadores de gas

Dicho de otra forma, el consumo de gas llega a cero para temperaturas superiores a las especificadas en “C⁰ Máximo” (cte-pendiente*T=0), mientras que la temperatura deseada a alcanzar es la especificada en “C⁰ deseado”. L1 y L2 están dentro de un rango posible pero no es así en los casos de Lsp y el Horno. Por ejemplo en el caso del calentador de cortina cuando el aire exterior sea 25,749 C⁰ SIN aporte de Gas, la temperatura alcanzada sería 80 C⁰ o más, lo cual es **totalmente ilógico**.

Es por ello que aunque las ecuaciones de L1 y L2 pueden ser correctas se concluye que las de Lsp y el horno no lo son. Esta es una de las razones por la que este método para haber igual el comportamiento del consumo de gas **relego a un sistema de apoyo para comprobar errores** en el método de “ecuaciones teóricas de comportamiento de aire”.

23 de junio de 2016

9.6.2 Cálculo de utilización de Gas mediante ecuaciones teóricas de comportamiento de aire

Este sistema es **más simple** que el anterior ya que no es necesario separar los consumos. Se basa en el cálculo teórico del comportamiento del aire partiendo de que:

- Densidad del aire: 1,293 Kgrs/m³
- Calor específico del aire: 0,24 Cal/(gr*C⁰)
- 1Nm³ equivale a 9.000 Kcal
- 21,5 C⁰ es la temperatura a la que se desea elevar el aire del exterior para L1, L2, Lsp.
- Flujo del aire conocido. L1=140.000m³/h, L2=168.000, Lsp=32.000 m³/h, Ventilador Cortina 4.000m³/h y Ventilador recirculación 36.000 m³/h.

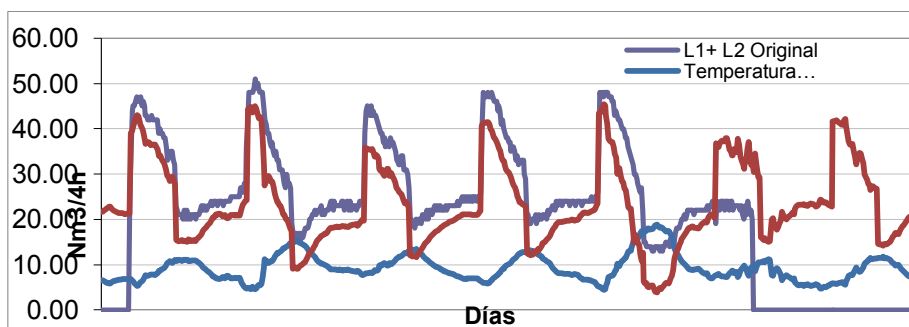
Para el mismo caso en la semana 17 calculado en el “9.6.1 Cálculo de utilización de Gas Natural mediante dispersión” se calculan los consumos Nm³/h. para ello se ha empleado el siguiente procedimiento:

$$\begin{aligned} \text{Consumo teórico } \frac{\text{Nm}^3}{h} &= \\ &= \frac{1\text{Nm}^3}{9000\text{Kcal}} * \frac{1\text{Kcal}}{1000\text{Cal}} * \frac{0,24\text{Cal}}{\text{gr} * \text{C}^0} * \frac{1000\text{gr}}{1\text{Kg}} * \frac{1,293\text{Kg}}{\text{m}^3} * (T_{\text{Deseada}}\text{C}^0 - T_{\text{Actual}}\text{C}^0) * \text{Flujo aire } \frac{\text{m}^3}{h} = \\ &= \frac{0,24 * 1,293 * (T_{\text{Deseada}}\text{C}^0 - T_{\text{Actual}}\text{C}^0) * \text{Flujo aire}}{9000} \frac{\text{Nm}^3}{h} \end{aligned}$$

Dónde:

- $(T_{\text{Deseada}} - T_{\text{Actual}})$ Se debe a que T_{Deseada} son los 21,5 C⁰ que se desea alcanzar y T_{Actual} es la temperatura exterior, de modo que el incremento de temperatura que debe aportar la quema de gas es la diferencia entre ambas temperaturas.
- Flujo de aire: Es el caudal de la línea que se esté analizando.

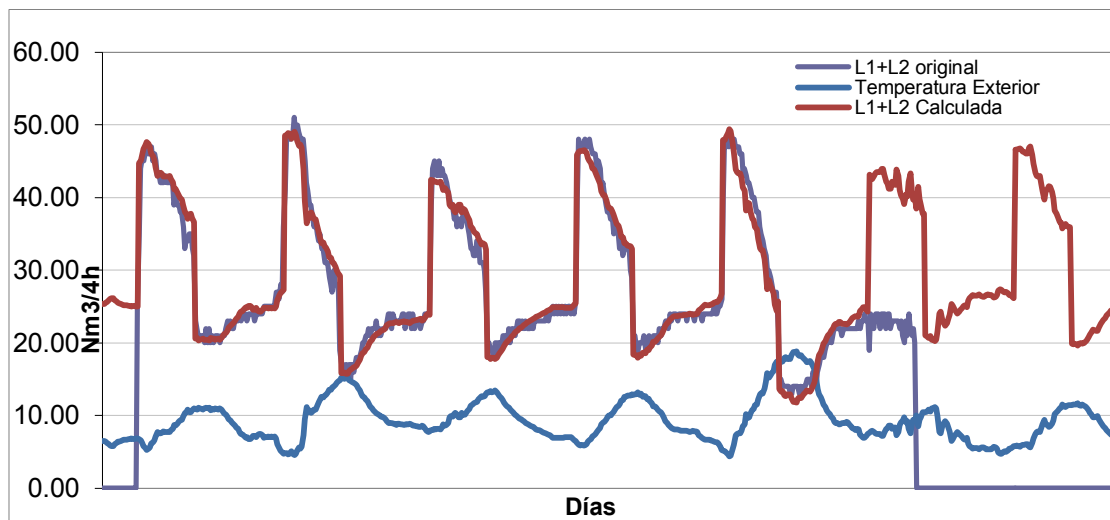
A si pues, se muestra a continuación el resultado de utilizar esta ecuación a la semana 17 (mismo caso que antes) teniendo en cuenta que el resultado de la ecuación hallada deberá ser dividido entre 4 ya que en las graficas se analiza el consumo cada cuarto de hora mientras que inicialmente la ecuación calcula el consumo cada hora. Además se adecuan los horarios a los periodos de activación de L1 y L2. El resultado es:



Gráfica: 18 Comparación entre consumo medido con consumo teórico para 21,5 C para semana 17

23 de junio de 2016

Como se puede ver el resultado teórico dista bastante con la realidad, sin embargo si tenemos en cuenta que en la quema de combustible, hay variables que *no se asemejan siempre a la realidad* como que la **densidad el aire** puede variar, al igual que lo puede hacer el **calor específico** o las **calorías que aportan un metro cubico de gas natural** o que en el transporte del aire caliente existen **perdidas de calor**, se debe considerar que para alcanzar la temperatura de $21,5\text{ C}^0$ se deberá, por lo tanto, quemar una **cantidad de combustible que equivaldrá a una temperatura superior**. Es por ello que se adecua el valor de $T_{Deseada}$ hasta que se hace coincide con la realidad de tal forma que se obtiene que $T_{Deseada} = 24\text{C}^0$.



Gráfica: 19 Comparación entre consumo medido con consumo teórico para 24 C para semana 17

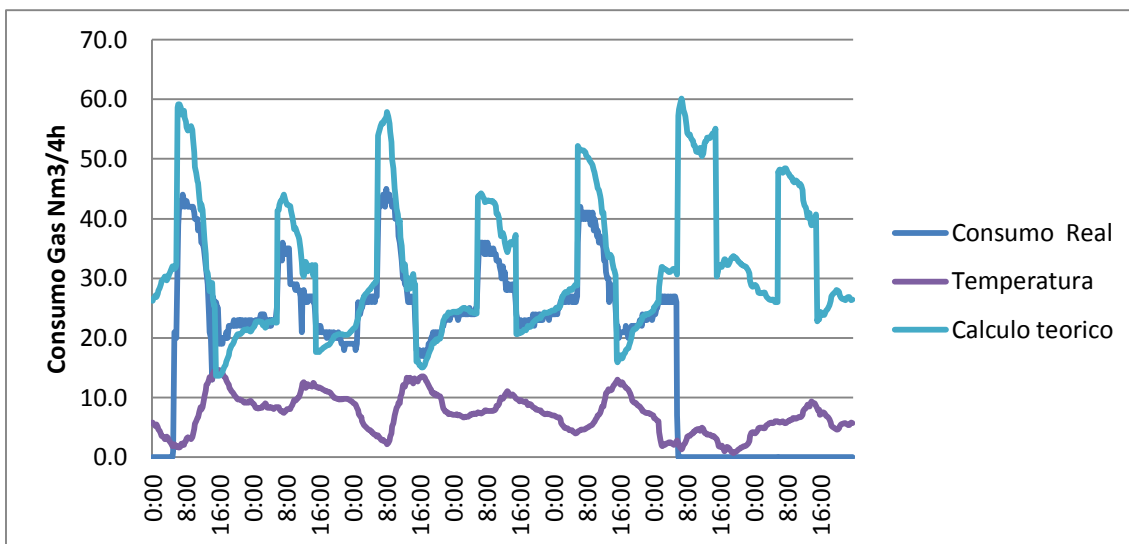
De esta forma no solo se obtiene una forma más cómoda de predecir el consumo de Gas en función de la temperatura sino que además se averigua que existe una pérdida aproximada del 10,4% (24 C^0 frente a $21,5\text{ C}^0$), por factores en un principio desconocidos, mediante el cálculo teórico en las líneas.

9.6.3 Conclusión metodología de predicción de consumo de gas en función de la temperatura

Comparando ambos sistemas de obtención del consumo de gas se aprecia que la utilización de “*las ecuaciones teóricas de comportamiento del aire*” son muchos más cómodas sin embargo en el proyecto no se decidieron usarlas hasta la semana 16 (se recuerda que se empezó en la semana 8) debido a que solo coinciden a partir de la semana 14. Esto se debe a lo siguiente:

Desde la semana 8 (que se tenga constancia) hasta la semana 14 la humectación de la línea L1 estuvo desconectada porque tenía una fuga en la tubería de agua, con lo cual, al no humidificarse el aire no necesitaba de un aporte extra de calor para hacer que las partículas de agua se evaporaran y por lo tanto el consumo de gas fue menor.

23 de junio de 2016



Gráfica: 20 Comparación entre consumo medido con consumo teórico para 24 C para semana 8

De haber usado únicamente “*las ecuaciones teóricas de comportamiento del aire*” se habría pensado que existía unas pérdidas diferentes en ambas líneas y se hubiese compensado disminuyendo la $T_{Deseada}$ con lo cual el resultado hubiese sido erróneo, sin embargo al utilizar el “*sistema de dispersión*”, si bien durante las semanas 8-14 coincidía el consumo (ya que se analiza el propio consumo), a partir de esa semana el consumo vario notablemente y en este caso no podía ser por pérdida de calor alguna, ya que las pérdidas no varían de forma abrupta de una semana a otra.

Es por ello que el uso continuado del “*sistema de dispersión*” aunque más laborioso y a la larga resulta menos exacta (especialmente para consumo pequeños, tal y como se vio con los resultados “*cálculo de dispersión*” de Lsp y el horno), sirvió para localizar lo que hubiese podido ser un error de cálculo en el sistema actual de predicción de consumo.

9.6.4 Modificación de la temperatura mediante el intercambiador

Mediante el uso del intercambiador de calor se pretende reaprovechar el calor de la salida del horno, a efectos de cálculo y teniendo en mente que el apartado 9.6.3:

$$\text{Consumo teórico} \frac{\text{Nm}^3}{h} = \frac{0,24 * 1,293 * (T_{Deseada}C^0 - T_{Actual}C^0) * \text{Flujo aire}}{9000} \frac{\text{Nm}^3}{h}$$

La temperatura que modifica el intercambiador es la de entrada, que inicialmente tiene la temperatura impuesta por la temperatura exterior pero que, mediante el intercambiador, se verá incrementada. De modo que quede:

$$T'_{actual} = T_{actual} + T_{Intercambiador}$$

$$\text{Consumo teórico} \frac{\text{Nm}^3}{h} = \frac{0,24 * 1,293 * (T_{Deseada}C^0 - T'_{Actual}C^0) * \text{Flujo aire}}{9000} \frac{\text{Nm}^3}{h}$$

23 de junio de 2016

Dónde:

- $T_{Deseada}$ Es la temperatura que se desea alcanzar con la combustión del gas natural
- T_{Actual} Es la temperatura exterior, es decir, la temperatura ambiente
- T'_{actual} Es la temperatura exterior más el incremento de temperatura producido por el intercambiador.

La $T_{Intercambiador}$ requiere de cálculos complejos si se profundiza mucho en la ingeniería de fluidos, pero se puede simplificar de modo que se obtengan valores aproximados y fiables mediante:

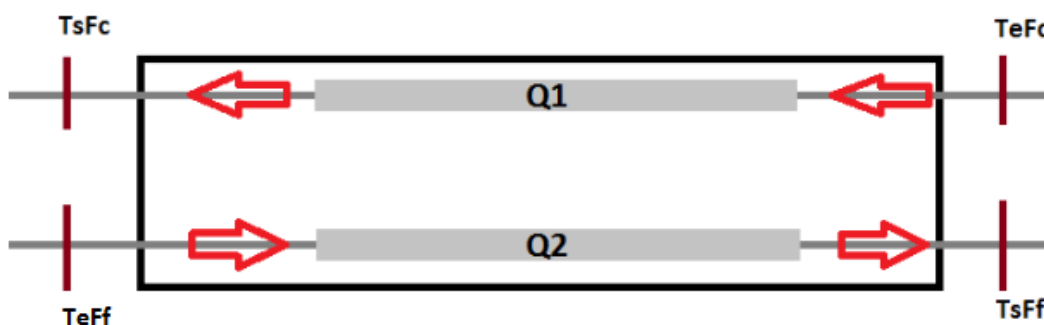


Imagen: 30 esquema sencillo de Intercambiador

T_{sFc} = Temperatura de Salida del Foco Caliente = Salida del Horno una vez ha cedido parte de su calor.

T_{eFc} = Temperatura de Entrada del Foco Caliente = Entrada del Horno antes de ceder parte de su calor.

T_{sFf} = Temperatura de Salida del Foco Frio = Salida del Foco frio una vez ha absorbido parte del calor del Foco Caliente.

T_{eFf} = Temperatura de Entrada del Foco = Entrada del Foco frio antes de absorber parte del calor del Foco Caliente.

Q = Calor intercambiado

Ecuaciones de un intercambiador

- $Q1 = m_{Fc} * C_c * (T_{sFc} - T_{eFc}) < 0 \rightarrow Q1 = m_{Fc} * C_c * (T_{eFc} - T_{sFc}) > 0$
- $Q2 = m_{Ff} * C_f * (T_{sFf} - T_{eFf}) > 0$
- $Q1 = Q2$

Dónde:

- m_{Fc} = Masa del Foco Caliente
- m_{Ff} = Masa del Foco Frio
- C_c = capacidad calorifica del fluido caliente
- C_f = capacidad calorifica del fluido frio

$$d) \quad \varepsilon = \frac{T_{eFc} - T_{sFc}}{T_{eFc} - T_{eFf}} \quad \text{Para } m_{Ff} * C_f > m_{Fc} * C_c$$

$$e) \quad \varepsilon = \frac{T_{sFf} - T_{eFf}}{T_{eFc} - T_{eFf}} \quad \text{Para } m_{Fc} * C_c > m_{Ff} * C_f$$

23 de junio de 2016

Dónde:

 ε = Rendimiento del intercambiador

Una vez descritas las ecuaciones a emplear se aprecian dos categorías diferentes a la hora de obtener $T_{Intercambiador}$ que sea T_{sFf} :

- $m_{Ff} < m_{Fc} \rightarrow$ [Caudal de cortina (4000m³/h) < Salida del Horno (7900m³/h)]
- $m_{Fc} < m_{Ff} \rightarrow$ [Salida del Horno (7900m³/h) < Caudal de L1, (140000m³/h), L2 (168000m³/h), Lsp(32000m³/h)]

$$m_{Ff} * C_f > m_{Fc} * C_c$$

Despejando de e) \rightarrow

$$T_{sFf} = \varepsilon * (T_{eFc} - T_{eFf}) + T_{eFf} = T'_{Actual} C^0$$

$$m_{Fc} * C_c > m_{Ff} * C_f$$

Despejando de c) $\rightarrow T_{eFc} = \varepsilon * (T_{eFc} - T_{eFf}) + T_{sFc}$

$$Q1 = m_{Fc} * C_c * (T_{eFc} - T_{sFc}) = m_{Fc} * C_c * (\varepsilon * (T_{eFc} - T_{eFf}) + T_{sFc} - T_{sFc})$$

Despejando:

$$Q1 = m_{Fc} * C_c * \varepsilon * (T_{eFc} - T_{eFf})$$

Despejando de b) $\rightarrow T_{sFf} = \frac{Q2}{m_{Ff} * C_f} + T_{eFf}$ como $Q1=Q2$

$$\rightarrow T_{sFf} = \frac{m_{Fc} * C_c * \varepsilon * (T_{eFc} - T_{eFf})}{m_{Ff} * C_f} + T_{eFf}$$

Al ser un intercambiador aire-aire: $C_c \approx C_f$ por lo que:

$$T_{sFf} = \frac{m_{Fc}}{m_{Ff}} * \varepsilon * (T_{eFc} - T_{eFf}) + T_{eFf} = T'_{Actual} C^0$$

23 de junio de 2016

9.6.5 Diferencia de m3/h de Gas utilizado mediante intercambiador

Utilizando el rendimiento concreto estipulado en las características técnicas, la eficiencia térmica del intercambiador MU-RECO-6000 CL41 939 es del 50% y tiene un precio de 4.974€

	Consumo Base Nm3/semana	Consumo con Intercambiador Nm3/semana	Diferencia Nm3/Semana	Diferencia Nm3/Año
L1	2.380,27	-	-	-
L2	8.277,22	-	-	-
Lsp	398,81	-	-	-
H(cortina)	1.331,45	1.115,05	216,4	9.738,1

La Diferencia de consumo anual de 9.738,1 Nm3 supone aproximadamente 4.010€/año.

9.6.6 Otras opciones de uso:

Los casos anteriores son todos los encontrados en la sección en la que se ha encomendado buscar y cuantificar ahorros sin embargo por si en futuros proyectos se decide aprovechar el calor de esta salida de aire para otro uso, se deja el dato de calorías expulsadas a la atmosfera, el cual es:

- densidad del aire $\left(\frac{1,293 \text{Kgrs}}{\text{m}^3}\right)$
- calor específico $\left(0,24 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{C}^0}\right)$
- Temperatura de salida del aire del horno 86 C^0

Densidad*calor específico*caudal=calorías/h:

$$\bullet \quad 1,293 \frac{\text{Kgrs}}{\text{m}^3} * 0,24 \frac{\text{calorias}}{\text{g} \cdot \text{C}^0} * \frac{1 \text{Kcal}}{1000 \text{Cal}} * \frac{1000 \text{g}}{1 \text{Kg}} * 7.900 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = \frac{2451,5 \text{Kcal}}{\text{h} \cdot \text{C}^0}$$

Con lo un caudal de 7900 m3/h a una temperatura de 86 C^0 equivale a:

$$\bullet \quad (2.451,5 * 86) \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} = 210.829 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

El consumo de gas natural necesario para alcanzar esas calorías es el de:

- 1Kwh=860Kcal
- 1Nm3=10,46521Kwh

23 de junio de 2016

$$210.829 \frac{Kcal}{h} * \frac{1}{860} \frac{Kwh}{Kcal} * \frac{1}{10,46521} \frac{Nm3}{Kwh} = 23,42 \frac{Nm3}{h}$$

Teniendo en cuenta que el consumo medio en el horno es de 30,74Nm3/h (18,62Nm3/h de consumo por la recirculación y 12,11Nm3/h por la cortina (visto en anexos: Consumo semanal consumo líneas) se puede apreciar con este cálculo el **gran desperdicio de gas** que existe en la actualidad.

23 de junio de 2016

9.7 Utilización de Variadores

9.7.1 Calentamiento de los variadores.

Tal y como se comentó en el apartado de desventajas del variador existe la **necesidad de saber si el ventilador de refrigeración del motor seguiría siendo válido** tras la instalación de un variador. Por lo tanto se sigue el siguiente procedimiento para saber si afecta negativamente o no.

Partiendo de que un motor por ejemplo M1 ($P_n=90\text{kw}$) que funciona a una velocidad nominal de 1450 Rpm:

- 1- Se **escoge una velocidad de funcionamiento diferente a la nominal**, para este proyecto se desea reducirla, por razones de calidad del aire según el procedimiento del RITE (especificado en el apartado 4.4), se decide reducir la velocidad al 37% para pasar de 0,4m/s a 0,15m/s. como la potencia se reduce de forma cubica respecto a la velocidad en bombas y ventiladores, tal y como se verá en “9.7.2 Reducción de potencia con la velocidad del aire de ventilación”, se obtendrá una potencia de funcionamiento de 4,75Kw.
- 2- Se **calcula el par necesario** mediante: $T = \frac{9.550 * Potencia}{Rpm} = \frac{9.550 * 4,75}{544} = 82,9 Nm$
- 3- No se dispone de la curva de capacidad concreta de los motores instalados, pero se han realizado una gran cantidad de estudios al respecto y en la actualidad se puede estimar el comportamiento de los motores de forma aceptable.

El **comportamiento estándar de los motores** es que, al estar autoventilado, la capacidad de carga térmica disminuye a medida que lo hace su velocidad, de modo que se limita el par continuo disponible a bajas velocidades.

Por otro lado un motor con una refrigeración independiente se dimensiona de tal modo que la refrigeración sea igual a la del punto nominal.

En ambos casos (independiente o independiente) el par está limitado térmicamente en el rango de debilitamiento del campo:

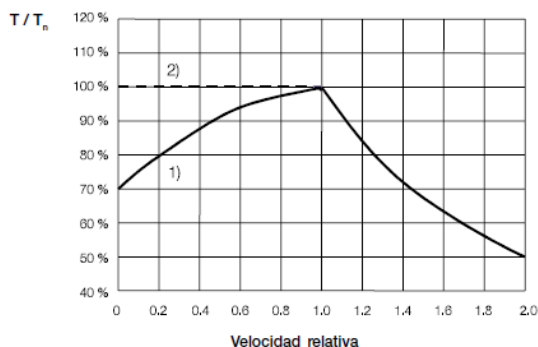


Imagen: 31 Capacidad de carga típica de un motor de inducción por jaula estándar en un accionamiento controlado por frecuencias 1) son refrigerador y 2) con refrigerador independiente.

23 de junio de 2016

4- **Par nominal como mínimo** del motor debería cumplir:

$$T_n = 579 \geq \frac{T}{\text{Capacidad de carga}} = \frac{82,9}{0,87} = 95,3 \text{ Nm}$$

5- **Potencia nominal como mínimo** del motor debería cumplir:

$$P_n \geq \frac{\frac{T}{\text{Capacidad de carga}} * Rpm_{nominal}}{9550} = \frac{95,3 * 1.500}{9.550} = 14,5 \text{ Kw}$$

Existe **otro procedimiento** de calculo que sería hallando la intensidad mínima continua para el convertidor, como ya se comentó, este cálculo se utiliza cuando el otro no se puede usar. Eligiendo por ejemplo un motor de 230Kw, 400V, 352 A, 50Hz y 2985 Rpm).

$$1- T_n = \frac{230 * 9.550}{2985} = 735,8 \text{ Nm}$$

La intensidad del motor a la velocidad de 2.000 Rpm y por lo tanto la intensidad mínima continúa del variador seria:

$$2- i_{mínima} = \frac{T_{carga}}{T_n} * I_n = \frac{573}{735,8} * 352 \text{ A} = 274,1 \text{ A}$$

Una vez explicado el procedimiento se presentan los resultados de todos los ventiladores de la instalación para una reducción de velocidad de 37% (incluso aunque no se lleguen a utilizar algunos de ellos):

% curva ventiladores	0,87						
velocidad actual m/s	0,4			Reducción de V:	37,5	%	
velocidad deseada m/s	0,15			Reducción de P:	5,27	%	
Elemento Accionado	Instalación asociada	Marca	Modelo	Potencia nominal (kW)	Par Nm (aprox. Siemens)	Par Nm calculado	Rpm
G. REPARACIONES. M1	IMPULSION AIRE	SIEMENS	1LAG 283-4AA70-Z2810M	90	579	592,8	1450
G. REPARACIONES. M2A	EXTRACCION AIRE	SIEMENS	1LAG 253-4A A60 250 MT	55	355	354,9	1480
G. REPARACIONES. M2B	EXTRACCION AIRE	SIEMENS	1LAG 253-4A A60 250 MT	55	355	354,9	1480
G.REPARACIONES. M7	IMPULSION AIRE	LEROY SOMER	S180 MT-T	18,5	121	121,0	1460
G.REPARACIONES. M8	EXTRACCION AIRE	SIEMENS	1LAS 1551 CA	11	72	72,0	1460
INTERIORES. M9	EXTRACCIÓN AIRE	SIEMENS	1LA 6280 4AA70	75	482	484,0	1480
INTERIORES. M10	IMPULSION AIRE	SIEMENS		110	707	724,5	1450
SPOT REPAIR. M12	IMPULSION AIRE	SIEMENS	1LA 2136-4AA60	22	143	143,9	1460
SPOT REPAIR. M13	EXTRACCION AIRE	SIEMENS	1LA 2183	18,5	121	120,6	1465

Tabla 16 Datos de motores en los que interesaría añadir variadores.

23 de junio de 2016

	Rpm aprox. de trabajo reducida (0,4m/s a 0,15m/s)	Pot aprox. de trabajo reducida (0,4m/s a 0,15m/s)	Par necesario trabajo (con rpm de trabajo)	Par nominal mínimo Nm	¿Par valido?	Potencia nominal mínima Nm	¿Potencia valida?
G. REPARACIONES. M1	544	4,75	82,9	95,3	Valida	14,5	Valida
G. REPARACIONES. M2A	555	2,90	49,6	57,1	Valida	8,8	Valida
G. REPARACIONES. M2B	555	2,90	49,6	57,1	Valida	8,8	Valida
G.REPARACIONES. M7	548	0,98	16,9	19,5	Valida	3,0	Valida
G.REPARACIONES. M8	548	0,58	10,1	11,6	Valida	1,8	Valida
INTERIORES. M9	555	3,96	67,7	77,8	Valida	12,1	Valida
INTERIORES. M10	544	5,80	101,3	116,5	Valida	17,7	Valida
SPOT REPAIR. M12	548	1,16	20,1	23,1	Valida	3,5	Valida
SPOT REPAIR. M13	549	0,98	16,9	19,4	Valida	3,0	Valida

Tabla 17 Resultado de posibilidad de utilización de variadores en los motores escogidos

Como se puede ver todos los ventiladores cumplen sobradamente tanto los valores mínimos de par como de potencia.

23 de junio de 2016

9.7.2 Reducción de potencia con la velocidad del aire de ventilación.

Partiendo de la ecuación básica de potencia que depende del par y de la velocidad:

$$P = T * \omega$$

Y recordando que en las bombas y ventiladores existe una relación entre el Par de carga y la velocidad de forma cuadrática, tal que: $T \propto n^2$

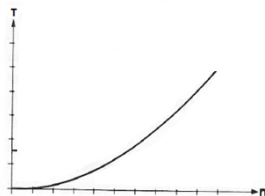


Imagen: 32 Relación entre el par y la carga en bombas y ventiladores

La potencia se puede asemejar a $P \propto n^3$, de esta forma se concluye que cualquier variación de la velocidad influye cúbicamente en la potencia, por ejemplo si se redujese en un 50% la velocidad:

$$n_{nueva} = \frac{50}{100} * n = \frac{n}{2}$$

$$P_{nueva} = \left(\frac{P}{2^3}\right) = \frac{P}{8} \rightarrow P_{nueva} = 12,5\% * P$$

De esta forma mientras que la velocidad se reduce en la mitad, la potencia lo haría a un octavo de la original.

En el caso de interés la velocidad a la que pasa es el 37,5% de la nominal por lo que la

$$P_{nueva} = \left(\frac{37,5}{100}\right)^3 * P = 5,27\% * P$$

23 de junio de 2016

9.7.3 Reducción de consumo en periodos de descanso.

Inicialmente no se puede aplicar ninguna reducción de potencia a los ventiladores en los intervalos en los que se esté pintando, por lo tanto solo se reducirá en los periodos de descansos estipulados a continuación:

	L1		L2		Lsp	
	INICIO	FIN	INICIO	FIN	INICIO	FIN
CT Noche-Mañana	6:00	6:00	5:50	6:00	6:00	6:00
Mañana	8:30	9:00	8:30	9:00	8:30	9:00
	10:25	10:45	10:25	10:45	10:25	10:45
	12:25	12:45	12:25	12:45	12:25	12:45
CT Mañana-Tarde	13:50	14:00	13:50	14:00	13:50	14:00
Tarde	(14:00	15:00)	16:25	16:45		
			18:00	18:30		
			20:25	20:45		
CT Tarde-Noche			21:50	22:00		
Noche			23:25	23:45		
			1:30	2:00		
			3:10	3:30		
			4:40	5:00		
Minutos Descanso	80		260		80	

Tabla 18 Horarios de descansos y cambios de turno para L1, L2 y Lsp

Nota: CT= cambio de turno, resto son descansos

Nota2: El intervalo entre paréntesis de (14:00-15:00) se analizara más adelante ya que se puede o bien eliminar como se recomendó en “Funcionamiento de quemadores de gas/ventiladores en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos: Ubicado en L1” o se puede reducir su consumo mediante variadores si se desea.

Consumo eléctrico

Por lo que el tiempo diario que se puede reducir el consumo de potencia es:

- $TL1 = \frac{80}{60}h = 1,33h$
- $TL2 = \frac{260}{60}h = 4,33h$
- $TLsp = \frac{10,3 \cdot 80}{60 \cdot 8}h = 1,72h$

El tiempo de trabajo a potencia nominal de las maquinas en cada línea es:

- $TL1 = 9h - \frac{80}{60}h = 7,66h$
- $TL2 = 24h - \frac{260}{60}h = 19,66h$
- $TLsp = 10,33h - \frac{80}{60}h = 8,6h$

23 de junio de 2016

Sin considerar el periodo 14:00-15:00 de L1, es decir con el tiempo de descanso especificado anteriormente, el consumo debido a los descansos equivaldrá a:

$$\begin{aligned} \text{consumo actual} &= \text{potencia consumida sin variador} * \text{horas de descanso} \\ \text{mejora de consumo} &= \text{potencia consumida con variador} * \text{horas de descanso} \end{aligned}$$

Las potencias que consumen las maquinas que se pueden conectar a los variadores para reducir el consumo en el **periodo de descanso** son:

- L1: 226,25 Kw/h
- L2: 185 Kw/h
- Lsp: 41 Kw/h

Dónde:

- L1 incluye los motores: M1 (93,75kw), M2 (55Kw), M2.1 (55Kw) y M16 (22,5Kw).
- L2 incluye los motores: M9 (75Kw) y M10 (110Kw).
- Lsp incluye los motores: M12 (22,5Kw) y M13 (18,5Kw).

Las potencias reducidas considerando lo mencionado en el apartado “9.7.2 Reducción de potencia con la velocidad el aire de ventilación” son:

- L1: 11,9 Kw/h
- L2: 9,8 Kw/h
- Lsp: 2,2 Kw/h

Nota: Es decir tras reducir la velocidad al 37,5% lo que implica reducir la potencia al 5,3%

Diferencia entre consumo de L1 con y sin variador una hora diaria es de 214,35 Kw/día (48.228,75Kw/año o 4.090€/año) para *apartado 7.1*

	Consumo actual en periodo de descanso Kw/día	Consumo con mejora en periodo de descanso Kw/día	Kw/día diferencia sin-con variador	Diferencia Kw/día
L1	301,7	15,91	285,8	1112,0
L2	801,7	42,28	759,4	
Lsp	70,5	3,72	66,8	

Tabla 19 Diferencia de potencia requerida entre el consumo diario con y sin variador (sin incluir el periodo 14:00-15:00)

Considerando el periodo 14:00-15:00 de L1 (es decir, tiempo de descanso = descanso +1h):

	Consumo actual en periodo de descanso' Kw/día	Consumo con mejora en periodo de descanso' Kw/día	Kw/día diferencia sin-con variador	Diferencia Kw/día
L1	527,9	27,84	500,1	1326,3
L2	801,7	42,28	759,4	
Lsp	70,5	3,72	66,8	

Tabla 20 Diferencia de potencia requerida entre el consumo diario con y sin variador (incluyendo el periodo 14:00-15:00)

23 de junio de 2016

Consumo de Gas

Como ya se dijo la reducción de potencia requiere que se haya reducido la velocidad del aire lo que implica que se reducirá el caudal, esta disminución de caudal permite consumir menos gas para alcanzar una misma temperatura.

La diferencia sin considerar el periodo de 14:00-15:00 de L1 (ya que se considera que en este periodo no se requiere calefacción alguna, y el ahorro por la eliminación de este tramo se incluye en el apartado 9.2) es de:

	Nm3		ahorro Nm3/semana
	consumo semanal actual	nuevo consumo semanal	
L1	2138,6	1998,6	140
L2	8106,9	7528,9	578
Lsp	497,7	456,8	40,9

Tabla 21 Diferencia de consumo de gas semanal entre usar o no variador.

Nota: se ha calculado Lsp según el horario de 8h y luego se ha estimado mediante una regla de 3 cuanto equivaldría que fuera 10,33h.

Nota2: Datos en anexo 12.6 Reducción de consumo de gas natural mediante variadores.

Cabe destacar que los descansos son de 20 o 30 minutos mientras que las mediciones y los datos de consumo son cada 15 minutos, por lo tanto existe un error de 5 minutos en los casos de descanso ya que no se contabilizan y de 10 minutos en el de los cambios de turnos ya que no se “ven”, para corregirlos considera que hay un error de:

- L1: 20 minutos no contados de 80 minutos (25%).
- L2: 70 minutos no contados de 260 minutos (26,92%).
- Lsp: 20 minutos no contados de 80 minutos (25%).

Es decir que solo se ha utilizado el 75%, 73,08% y el 75% respectivamente, por lo tanto el ahorro aproximado total rondara los:

	sin considerar 14:00-15:00
	Nm3/semana
L1	175
L2	733,6
Lsp	51,12

Total Nm3/día
191,94

Tabla 22 Diferencia de consumo de gas diario entre usar o no variador.

De modo que, a como resumen, se obtiene que el ahorro semanal seria de:

- 1.112,0 Kw/día (Sin considerar 14:00-15:00) → 250.200 Kw/año.
- 1.326,3 Kw/día (Considerando 14:00-15:00) → 298.417,5 Kw/año.
- 194,92 Nm3/día → 43.186 Nm3/año.

23 de junio de 2016

Lo cual, anualmente supone:

	€ Sin considerar 14:00-15:00	€ Considerando 14:00-15:00
Ahorro € en electricidad	21.205	25.290
Ahorro € en Gas	17.785	17.785

Tabla 23 Ahorro económico anual al usar variadores

Se recuerda que se trabajan 9h si se incluye el tramo de 14:00-15:00 y 8 si no se incluyen, la razón por lo tanto de que el ahorro sea mayor considerando el tramo 14:00-15:00 es que también se consume más.

9.7.4 Reducción de consumo en periodos de trabajo

Considerando que se desea:

- Reducir a 87,5% la vel. nominal (0,35 m/s) → Equivale a reducir la Pot. a $67\% \cdot P_{nominal}$.
- Que se aplique durante el 50% del tiempo de funcionamiento.

Las potencias que consumen las maquinas que se pueden conectar a los variadores para reducir el consumo y los Kws consumidos anualmente en la actualidad son:

- L1: 226,25 Kw/h → Durante 7,66h → 389.941,8 Kw/año
- L2: 185 Kw/h → Durante 19,66h → 818.347,5 Kw/año
- Lsp: 41 Kw/h → Durante 8,6h → 79.335 Kw/año

El nuevo consumo daría como resultado:

$$\text{consumo modificado} = \text{consumo} * 1 * \frac{50}{100} + \text{consumo} * 0,67 * \frac{50}{100}$$

- L1: 325.601,4 Kw/año.
- L2: 683.320,1 Kw/año.
- Lsp: 66.244,7 Kw/año.

Es decir una diferencia de:

- L1: 64.340,4 Kw/año.
- L2: 135.027,3 Kw/año.
- Lsp: 13.090,2 Kw/año.

Un total de 212.457,9 Kw/año

23 de junio de 2016

Como no va a ser posible la utilización de este método, no se considera necesario hacer un cálculo exhaustivo para hallar el ahorro de Gas, por ello se considera que si se ahorrarían 191,94 Nm³/día y 1.112,0 Kw/día en un mismo periodo según lo visto en los *apartados de 9.7.3* se estima que los 212.457,9 Kw/año supondrían 36.672 Nm³/año realizando una regla de tres.

Como se mencionó este sistema no es válido por motivos de calidad de la producción, pero en el caso de Lsp al asemejarle más a una cabina de taller que a una línea de montaje se considera que se puede modificar su consumo en el horario de trabajo de la siguiente manera:

- Potencia actual: 41Kwh
- Potencia reducida: 2,2Kwh
- Tiempo de trabajo diario descontando descansos: 8,6h
- Tiempo que en el trabajo que se considera que se puede reducir: 40%

Por lo tanto La diferencia de consumo en **tiempo de trabajo** diariamente en Lsp será:

- *consumo actual* = $(41 * 1 + 2,2 * 0) * 8,6 = 352,6Kw/dia$
- *consumo reducido* = $(41 * 0,6 + 2,2 * 0,4) * 8,6 = 219,13Kw/dia$

Siendo la diferencia de 133,47 Kw/día, al año supone un ahorro de 30.030 Kw.

En cuanto al ahorro de gas que conllevaría la disminución del caudal de aire, como el consumo varía dependiendo de la temperatura exterior y no se puede prever cuando se decidiría poner en funcionamiento el variador se realiza la estimación de que si 99,54 Nm³ es el consumo medio diario de Lsp trabajando 10,33h, en 8,6 h serian:

Consumo medio de gas en Lsp sin descansos (8,6h): $\frac{8,6 * 99,54}{10,33} = 82,86 \text{ Nm}^3/\text{día}$

De los cuales el 40% del tiempo se reducirá el consumo en un 37,5% (debido a que la velocidad que pasa de 0,4m/s a 0,15m/s, es decir 37,5%, y como ya se ha explicado anteriormente el caudal=velocidad*área, por lo tanto la relación entre caudal y velocidad es lineal). Por lo tanto el consumo diario de Gas en Lsp seria de:

$$82,86 * 0,6 + 82,86 * 0,4 * 0,375 = 62,14 \text{ Nm}^3$$

La diferencia diaria en el tiempo de trabajo seria: $82,86 - 62,14 = 20,71 \text{ Nm}^3/\text{día}$.
Anualmente supondría 4.660 Nm³.

23 de junio de 2016

9.7.5 Reducción de potencia en la refrigeración de la salida del horno

La velocidad de la cinta que transporta los vehículos es de 0,45m/min durante 9h, lo que crea un desplazamiento equivalente a 243 metros cada día.

Como el ahorro depende de los huecos entre vehículos y no existe un patrón concreto de salida de estos, se calculara el mejor y el peor de los casos para una media de vehículos reparados en la línea 1.

Teniendo en cuenta que la media de automóviles que circulan en cada turno (o día en el caso de esta línea) es de aproximadamente 25, que cada uno de ellos mide 3,9722 metros de largo y que la longitud de la zona de refrigeración es de 6,2 metros.

Mejor de los casos:

Se considera el mejor de los casos cuando el tiempo total de trabajo es el equivalente a la distancia que recorrerían todos los vehículos reparados si llegasen seguidos uno tras de otro con una separación de 2 metros (que es aproximadamente la distancia de separación que dejan los operarios más pequeña observada) más la suma de la distancia del horno junto con el de la longitud del último de los vehículos (aunque todos son iguales).

En este caso no harían falta los variadores en los ventiladores de refrigeración ya que al haber siempre un automóvil dentro del refrigerador hasta que se acabasen y tras esto lo lógico sería apagar la línea, no tendría sentido usarlos. La longitud de trabajo equivalente sería:

$$(Long\ vehiculos + separación_{mejor\ caso}) * N^{\circ}vehículos + (long\ zona\ de\ refrigeración + Long\ vehiculo)$$

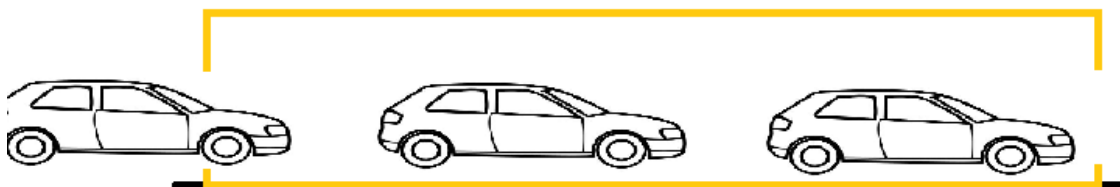


Imagen: 33 Mejor de los casos → Cuando los vehículos entran con la separación mínima al horno.

Peor de los casos:

Se considera el peor de los casos, consistiría en que el vehículo posterior llegase a la refrigeración un poco antes de que el vehículo que tienen por delante salga, es decir que la separación entre automóviles sea igual a la zona de refrigeración generando el mayor hueco posible en el que los variadores seguirían sin poder activarse.

23 de junio de 2016

$$(Long\ vehiculos + separación_{peor\ caso}) * N^{\circ}vehículos + (long\ zona\ de\ refrigeración - Long\ vehiculo)$$



Imagen: 34 Peor de los casos → Cuando los vehículos entran con la separación máxima al horno en la cual aún no se han podido activar los variadores.

El momento en el que se podría usar los variadores sería cuando la distancia que separa los vehículos es superior a la longitud del horno como se representa en el siguiente dibujo:

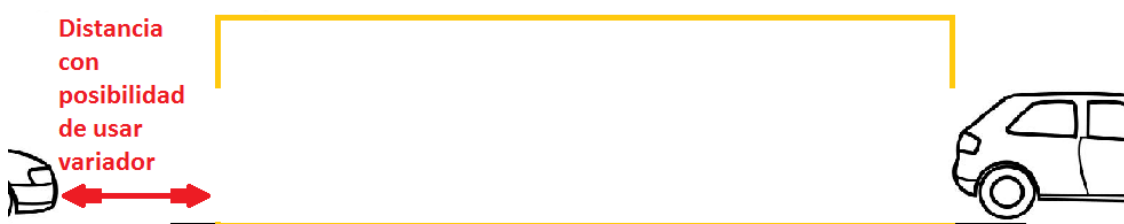


Imagen: 35 Caso óptimo para la utilización de variadores en el enfriamiento de los automóviles.

No se puede saber la distancia en el que el variador tiene posibilidades de funcionar pero se puede estimar. Si se tiene en cuenta que el espacio en el que puede funcionar es igual a la resta del espacio total menos la distancia en la que no puede ser usado, y que el último de los vehículos sale del horno pasadas las 9h (por lo que se sabe que se consume el espacio total de funcionamiento), al disponerse de los dos extremos de funcionamiento, mediante “el peor” y “mejor de los casos” se tiene un rango de distancia de funcionamiento. El **rango de distancias** sería por lo tanto:

- Mejor caso posible: 153,5 metros
- Recorrido que realiza la cinta en 9h: 243 metros
- Peor caso posible: 254,3 metros (como no tiene sentido que sea superior a lo máximo posible recorrido se quedaría en 243 metros)

Se reitera que son extremos de funcionamiento, simplemente usados para tener un **rango de ahorro**, de hecho, el peor de los casos no podría darse nunca porque existiría la posibilidad de que los vehículos estén separados por ejemplo 6,2m (longitud del horno) + 0,1 m lo que provocaría que durante 10cm (0,22 segundos) el variador intentaría pasar de su velocidad nominal a la reducida para luego volver a la nominal lo que generaría **grandes daños al variador y al motor del ventilador**.

Se recomienda por lo tanto que, en caso de usar este sistema se tenga en mente la **necesidad de usar un sensor** de trabajo para la detección de los automóviles a una distancia de activación y otro de seguridad que se imponga al anterior en caso de proximidad al límite o algún sistema similar que evite sobreesfuerzos en las máquinas.

23 de junio de 2016

En este caso las máquinas trabajan a 1.500 rpm y se desconoce la velocidad del aire, pero tampoco tiene relevancia, basta con elegir una reducción de adecuada de revoluciones y, de forma lineal, se reducirá también la velocidad del aire (y como ya se ha explicado con anterioridad de forma cubica la potencia empleada). Por otro lado hay que tener en cuenta que la **respuesta de los variadores es rápida**, inferior a cualquiera de los casos anteriores, pero a causa de la inercia de que acumulan los ventiladores en su funcionamiento nominal, en el caso de que nos encontremos con el mejor de los casos en repetidas ocasiones podría dañarse el motor y el variador si las variaciones de velocidad de giro son muy continuadas y acaba funcionando como generador/freno.

En los casos anteriores de utilización de variadores se había optado por reducir a un 37,5% las rpm debido a lo especificado en el apartado de “4.5 Velocidad del aire en los variadores”, en el caso actual sin embargo el objetivo de la ventilación no es el de disipación de productos químicos u homogeneizar la pintura, es más, **ni siquiera está restringido a condiciones de salubridad** ya que no habrá trabajadores directamente en el flujo de la corriente.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente se opta por una reducción del 50% (de 1500rpm a 750rpm, con un consumo de potencia del 12,5%) para evitar cargar al variador en caso de **variaciones repentinas**. Los datos a tener en cuenta son:

- El consumo anual de estas máquinas (total de 29,5Kw/h): 59.737,5 Kw.
- El coste de un variador de la potencia necesaria para las máquinas M7 y M8 (ATV 61HD30M3X de 30Kw: con un coste de 3.707,7€)
- La diferencia de consumo anual de las máquinas en el mejor de los casos: 19.250,7 Kw
- La diferencia de consumo anual de las máquinas en el peor de los casos: 0Kw

Traducido en un ahorro económico oscilaría en un rango de ahorro entre 0€ y 1.631,5€ anuales. Es decir entre no amortizarse nunca o hacerlo en 2 años y 3 meses.

Mediante observación del funcionamiento de la línea de grandes reparaciones se ha visto que hay vehículos que **salen del horno al llegar la novena** hora del turno de trabajo, también se ha observado que es habitual la **reparación de tres o cuatro automóviles seguidos** para luego dejar un espacio (o tiempo según se mire) en el cual **existen huecos viables para usar variador**, por lo tanto se sabe de la existencia de periodos en los que ambos casos, tanto mejor como peor pueden ocurrir, por lo tanto existe la **posibilidad de cumplir** la amortización, pero no por ello signifique que lo haga.

Al estar el mejor de los casos tan cerca del periodo máximo de amortización permitido, se considera **arriesgado el emplear este método**, ya que es probable que no cumpla la amortización (en la cual no se ha incluido la instalación ni del variador ni del sistema de detección), por lo que **NO se recomienda usar este sistema** al menos hasta que se pueda garantizar un flujo constante de vehículos a una distancia determinada, aunque de disponer la opción de garantizar una distancia concreta sería más conveniente realizar todos los vehículos seguidos y terminar el turno antes.

A continuación, **independientemente de los variadores** se cuantificará los beneficios de conseguir un flujo constante de automóviles (en el mejor de los casos descrito), este apartado aunque surge a raíz de la idea poner un variador en la zona de enfriamiento, es independiente a las máquinas en sí:

23 de junio de 2016

Los 153,5 metros equivalen a 5,7h si la cinta desplaza los vehículos a 0,45m/s, por lo que se ahorrarían 3,3h respecto al tiempo de trabajo actual del horno y 2,3 de la línea de grandes reparaciones (considerando que ya se ha aplicado el apartado 9.2 en el cual ya se ha eliminado la hora sobrante de 14:00-15:00). De modo que de empezar en su horario habitual de 6:00, terminarían sobre las 11:45, lo cual generaría un ahorro en el consumo de gas de:

- L1: 459,91Nm³/semana (20.695,8Nm³/año de un total máximo aproximado de 104.245 Nm³/año)
- Horno: 493,1Nm³/semana (22.189,4Nm³/año de un total máximo aproximado de 62.249,1 Nm³/año)

En términos de potencia, la eliminación de 3,3h (en H) o 2,3h (en L1) supondría:

- L1: 237,25Kw/h (122.776,9Kw/año de un total máximo de 427.050 Kw/año)
- Horno: 70,5/Kw/h (52.346,25Kw/año de un total máximo de 142.762,5 Kw/año)

Ambos ahorros generarían una reducción económica de:

- L1: 8.523€ en Gas + 10.405€ en electricidad (19,85% y 28,7% **del consumo total** de gas y eléctrico en L1 respectivamente).
- Horno: 9.138€ en Gas + 4.436€ en electricidad (35,6% y 36,6% **del consumo total** de gas y eléctrico en Horno respectivamente).

Nota: datos de Nm³ en anexos → optimización de vehículos en L1+H; Media semanal consumo Gas Nm³

A modo de comparación, si se convierte el tiempo de trabajo en desplazamiento recorrido por los vehículos, la línea de grandes reparaciones recorre un total de 153,5 metros de 242 metros en el mejor de los casos, es decir un **63,4% de lo posible**. Mientras, la línea de pequeñas reparaciones, dado que diariamente repara aproximadamente 180 automóviles durante 24h con una separación entre vehículos de 1 metro a una velocidad de 0,77m/min excepto en los periodos de descanso (260 minutos totales) en los cuales, a diferencia de en L1, se detiene la línea. El resultado es que recorre el equivalente a 895m de un total posible de 908,6 metros en el mejor de los casos, es decir **98,5% de la distancia total**.

Como se puede comprobar el rendimiento de **L2 roza la perfección**, mientras que el de **L1 es bastante mediocre**.

23 de junio de 2016

9.8 Iluminación

Para la realización de este apartado se ha buscado un suministrador cuyo producto fuese de **calidad, con precios competitivos y con reputación** en el sector. Teniendo en cuenta todo esto los mejores tubos Led encontrados en tiendas especializadas en relación calidad-precio han sido los tubos Led de 23 w y 22w de la empresa Greenice descritos a continuación.

La iluminación actual consiste en tubos fluorescente “MASTER TL-D Xtra Polar 58W/840 T12 SLV” en toda la nave, con un total aproximado de 390 fluorescentes distribuidos en: 90 fluorescentes ubicados en L1 con un periodo de funcionamiento de 8 horas diarias, 171 en L2 operativos 24h al día y por ultimo 129 funcionando 10,33h al día de media en Lsp (en días laborales se sobreentiende).

La idea es sustituirlas por tubos Led, ya que aunque en comparación con las máquinas de las líneas, la potencia consumida por los fluorescentes es pequeña, al haber tantas luminarias se considera una posible fuente de ahorro.

Comparación de características:

Iluminación actual MASTER TL-D Xtra Polar 58W/840 T12 SLV.

- Potencia consumida: 58w
- Lumens: 4750 lux
- Eficacia luminosa: 81,9 lm/w
- Horas de vida: 36000h
- Precio: 27,02 €

1- Nueva iluminación: Tubo de Leds 1500mm Cabeza Rotatoria 23W 2300Lm 30.000H (Código: GR-T8RDDG23W-CW-O).

- Potencia consumida: 23w
- Lumens: 2300 lux
- Eficacia luminosa: 100 lm/w
- Horas de vida: 30000h
- Precio: 18,02 €
- CRI: 80

2- Nueva iluminación: Tubo de Leds T8 de Vidrio 1500mm Apertura 300° 22W 2200Lm 30.000H (Código: PCE-GRGD03-1500-CW).

- Potencia consumida: 22w
- Lumens: 2200 lux
- Eficacia luminosa: 100 lm/w
- Horas de vida: 30000h
- Precio: 11,80 €
- CRI: 73

23 de junio de 2016

Resumen de funcionamiento por líneas:

	Nº Lámparas	funcionamiento Horas/día	funcionamiento horas/año
L1 actual:	90	8	1800
Nº Lámparas L2 actual:	171	24	5400
Nº Lámparas Lsp actual:	129	10,333	2325

Tabla 24 Nº luminarias en cada línea y horas de funcionamiento

Equivalente de luminarias según lúmenes:

actual Lámparas	Nuevas Lámparas Tipo 1 (18,03€)	nuevas Lámparas Tipo 2 (11,80€)
1	2,07 x Iluminación actual	2,16 x Iluminación actual

Tabla 25 Nº equivalente de lámparas Led por cada lámpara fluorescente

Total de luminarias necesarias considerando la diferencia que tienen respecto a la iluminación instalada actualmente:

actual Lámparas	nuevas Lámparas Tipo 1 (18,03€)	nuevas Lámparas Tipo 2 (11,80€)
90	186	195
171	354	370
129	267	279

Tabla 26 Nº total de lámparas Led por cada lámpara fluorescente en cada línea

Nota: Como cada luminaria colocada debe amortizarse por sí sola se realizaran los cálculos de amortización para una única fluorescente.

	actualmente	equivalente 1 lámpara	equivalente 2 lámpara
N luminarias analizadas	1	2,07	2,16
consumo anual Kw L1	104,4	85,5	85,5
consumo anual Kw L2	313,2	256,5	256,5
consumo anual Kw Lsp	134,8	110,4	110,4

Tabla 27 Comparación de consumo anual entre lámparas fluorescentes y Leds

Da la casualidad de que el equivalente hallado mediante:

$$\frac{\text{lumens actuales}}{\text{lumens led}} * \text{wattios de consumo Led (23 o 22 wattios respectivamente)}$$

Se obtiene un mismo consumo anual para ambas tipos de tubos Led. De modo que la diferencia de consumo entre usar fluorescentes o Leds del tipo 1 o 2 sería la misma:

23 de junio de 2016

	Diferencia Kw/año una lámpara Tipo 1 o 2	Ahorro en €/anual
L1	18,9	1,60
L2	56,7	4,81
Lsp	24,4	2,07

Tabla 28 Diferencia de consumo anual entre una lámpara fluorescentes y otra Leds

Por otro lado el precio equivalente considerando la iluminación se incrementaría de modo que:

$$\text{Precio equivalente} = \frac{\text{lumens actuales}}{\text{lumens led}} * \text{Precio de tubo Led} * N^{\circ} \text{ tubos leds equivalentes necesarios}$$

Para ver si se amortizan en 3 años:

	Ahorro en €/3años	coste un Led tipo1	Ahorro €/3años x tubo Led
L1	4,81	44,66	-39,85
L2	14,42	44,66	-30,24
Lsp	6,21	44,66	-38,45

	Ahorro en Kw €/3años	Coste un Led tipo2	Ahorro €/3años x tubo Led
L1	4,81	30,57	-25,77
L2	14,42	30,57	-16,16
Lsp	6,21	30,57	-24,37

Tabla 29 Amortización en 3 años al cambiar tubos fluorescentes por Leds

Nota: El coste de los Leds =

$$\text{cantidad de tubos equivalente a 1 fluorescente} * \text{Precio tubo led} * \frac{\text{Horas vida util fluorescente}}{\text{Horas vida util tubo led}}$$

De momento usando únicamente el ahorro energético, no se amortizan los tubos Led.

23 de junio de 2016

Ahora bien, se está considerando la sustitución de los tubos fluorescentes en la actualidad, si por el contrario se sustituyeran cuando los fluorescentes fallen (o se acabe su vida útil) el coste de los tubos Led no sería el total sino la diferencia de precio entre los fluorescentes y los tubos Leds, el resultado sería este:

sustitución tras acabarse vida útil de fluorescentes			
	Ahorro en Kw €/3años	Diferencia coste Led- fluorescente tipo1	Ahorro €/3años x tubo Led
L1	4,81	17,64	-12,83
L2	14,42	17,64	-3,22
Lsp	6,21	17,64	-11,43

	Ahorro en Kw €/3años	Diferencia coste Led- fluorescente tipo2	Ahorro €/3años x tubo Led
L1	4,81	3,55	1,25
L2	14,42	3,55	10,86
Lsp	6,21	3,55	2,65

Tabla 30 Amortización en 3 años al cambiar tubos fluorescentes tras acabarse su vida útil por Leds

Se aprecia que el coste de las lámparas en la actualidad, al ser una tecnología aun en desarrollo resulta ser más cara, aunque el consumo sea menor.

De esta forma se observa que en el tipo 1 de tubos Leds sigue sin ser rentable, mientras que en el tipo 2 como son más baratos genera beneficio.

A todo esto aún no se ha considerado la instalación de los mismos, el hecho de necesitar más tubos implica el necesitar más regletas para colocarlos:

Coste dobles regletas:	12,35 €
------------------------	---------

	Nº Actual Lámparas	Nuevas Lámparas Tipo 1	Diferencia cantidad	Regletas dobles necesarias	Coste individual €
L1	90	186	96	48	6,18
L2	171	354	183	92	6,18
Lsp	129	267	138	69	6,18

23 de junio de 2016

	Nº actual Lámparas	Nuevas Lámparas Tipo 2	Diferencia cantidad	Regletas dobles necesarias	Coste individual €
L1	90	195	105	53	6,18
L2	171	371	200	100	6,18
Lsp	129	280	151	76	6,22

Tabla 31 Coste por línea de añadir portalámparas

Por lo tanto añadiendo el coste por las regletas:

Sustitución tras acabarse vida útil de fluorescentes
--

	Ahorro en Kw €/3años	Diferencia coste (Led+ regleta) - fluorescente tipo 1	Ahorro €/3años x tubo Led
L1	4,81	23,81	-19,01
L2	14,42	23,85	-9,43
Lsp	6,21	23,81	-17,61

	Ahorro en Kw €/3años	Diferencia coste (Led+ regleta) - fluorescente tipo 2	Ahorro €/3años x tubo Led
L1	4,81	9,79	-4,98
L2	14,42	9,73	4,69
Lsp	6,21	9,77	-3,56

Tabla 32 Amortización en 3 años al cambiar tubos fluorescentes tras acabarse su vida útil por Leds e instalar portalámparas

El ahorro al sustituir los tubos tipo 1 (Greenice tubo Led: 2.300 lm, 23w, 18,02€) por los fluorescentes actuales (MASTER TL-D Xtra Polar 58W/840 T12 SLV) seguiría siendo inexistente en el periodo especificado, mientras en el tipo de tubo de Led 2 (Greenice tubo Led: 2200 lm, 22w, 11,80€) si daría beneficios pero solo en la Línea de grandes reparaciones ya que esta operativa 24h y por lo tanto genera más ahorro en el consumo de potencia. La importancia de la tabla 32 no reside en el valor en sí mismo sino en el signo del resultado, el cual indica si se ha amortizado o no en el periodo especificado.

	Lámparas actuales fluorescentes	Ahorro €/años x tubo fluorescente	Total ahorro €/año
L2	171	4,81	822,5

Tabla 33 Líneas en las cuales existe posibilidad de amortización de la inversión

El coste de los cambios en la línea serían de 1660€ (Diferencia de coste*Nº de luminarias a cambiar=9,73*171), a esto habría que sumarle el coste de la instalación, por lo que no se considera que merezca la pena sustituir en la actualidad los tubos fluorescentes por tubos Leds.

23 de junio de 2016

Cabe mencionar que la vida útil de los fluorescentes es de 36000h mientras que la de los Leds es de 30000h (83,3%) como ya se ha dicho con anterioridad de hecho, se ha calculado en base a eso. Sin embargo mientras que los fluorescentes pasada su vida útil no funcionan, los Led si lo hacen pero a menos luminiscencia. Al no especificar los fabricantes el grado de degradación de los tubos Leds se dejaron los resultados finales como los mostrados anteriormente.

A día de hoy no se recomienda la sustitución por iluminación Led ya que es una tecnología en desarrollo que aunque avanza considerablemente rápido en la actualidad aun no es suficientemente rentable como para sustituir o cambiar una instalación ya diseñada pero si es interesante su aplicación en una nueva y de mucho funcionamiento.

23 de junio de 2016

10 Bibliografía

Nota: Los links de la sección bibliográfica datan de la fecha de 31/05/2016

Referente a información sobre VW Navarra:

- Información de proceso productivo:
 - <http://vw-navarra.es>

Referente a información sobre Humidificación:

- Información general sobre la humedad:
 - <http://www.academiatesto.com.ar/cms/humedad-relativa>
- Datos de humedad diarios:
 - <http://meteo.navarra.es/estaciones/estacion.cfm?IDEstacion=405>
- Criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis (Real Decreto 865/2003):
 - <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-14408>
- Humidificadores spray empresa Condair:
 - <http://www.condair.mx/jetspray-humidificador-spray-de-aire-comprimido-y-agua>
- Subvenciones en Navarra por sustitución a biomasa:
 - http://www.navarra.es/home_es/Temas/Empleo+y+Economia/Energia/A-Ayudasysubvenciones.htm

Calor específico y Densidad del aire

- Información sobre el valor del calor específico y densidad del aire:
 - Fundamentals of Engineering Thermodynamics" by Moran Shapiro

Referente a información sobre calderas de biomasa:

- Precios de combustible de biomasa:
 - <http://www.e3calor.es/precios-de-biomasa/>
- Ejemplo de estudio viabilidad económica:
 - <http://fundacion-biodiversidad.es/cambio-climatico-y-calidad-ambiental/proyectos--convocatoria-ayudas/estudio-de-viabilidad-economica>
 - <http://www.uniopagesos.cat/>

Referente a información sobre Intercambiadores

- Información general sobre intercambiadores:
 - Artículo instalaciones y eficiencia energética: <http://instalacionesyeficienciaenergetica.com/ahorro-energetico-con-recuperadores-de-calor/>
 - Centro de Investigación en Energía. Universidad Nacional Autónoma de México: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>
- Ecuaciones sobre intercambio de calor:
 - Ingeniería térmica de fluidos universidad de Cantabria: XVIII- intercambiadores de calor método de la eficiencia: <https://lopezva.files.wordpress.com/2011/10/intercambiadores-metodo-de-la-eficiencia.pdf>

23 de junio de 2016

- Fundamentos de termodinámica técnica- Moran Shapiro II
- Curvas de rendimiento de intercambiadores:
 - Unidades de Tratamiento de Aire Climatizadores DV (Danvent):
<https://www.systemair.com/globalassets/downloads/leaflets-and-catalogues/spanish/ventilacion-dv-72ppp.pdf>
 - Unidades de intercambio aire-aire (Hitecsa):
http://www.hitecsa.com/files/static/catalogo_hitecsa_ESP.pdf
 - Catalogo precios y características intercambiadores y bombas de calor (Ciat):
http://www.grupociat.es/infos/catalogues/CATALOGO_CIAT_2013-14.pdf

Referente a información sobre Variadores:

- Conceptos y definiciones básicas:
 - Sistemas de regulación y control automáticos: variadores de frecuencia; Fernando Sevillano Calvo
- Tipos de carga y graficas de capacidad de carga:
 - ABB drives- Libro de guías técnicas de accionamientos CA- capítulo 7- Dimensionado de un sistema de accionamiento:
https://library.e.abb.com/public/dd0c813e2011033ec1257d4e00406241/TechnicalGuideBook_1_10_ES_REVH.pdf
- Velocidad recomendada de funcionamiento de los ventiladores de las cabinas de pintura:
 - Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones- Aplicación de pintura en carrocerías
 - Universidad Simón Bolívar: Análisis de factibilidad técnica-económica para la compra o construcción de una cabina de pintura de vehículos
- Renovaciones de aire en cabinas de pintura según empresas de ventilación en cabinas de pintura:
 - Empresa Salvador Scoda: <http://www.salvadorescoda.com/tecnico/VE/CasoPractico2.pdf>
 - Empresa Soler Palau:
<http://www.soler-palau.mx/pdf/casospracticos/pintadocoches.pdf>
- Catalogo propiedades variadores Altivar_61_schneider-electric:
 - http://www.tecnical.cat/PDF/Schneider/MECATRONICA/Catalogo_Altivar_61_2008.pdf
- Catalogo precios variadores Altivar_61_schneider-electric:
 - http://www.schneiderelectric.es/documents/local/productos-servicios/automatizacion-control/tarifas/tarifa_vvd_septiembre_2009.pdf

Referente a información sobre Iluminación

- Características de fluorescentes actuales:
 - http://www.lighting.philips.com/main/prof/lamps/fluorescent-lamps-and-starters/tl-d/master-tl-d-xtra-polar/927983684075_EU/product
- Características de tubos Leds:
 - Tubo led 23w → <http://greenice.com.es/tubos-de-leds-ecoline/1197-tubo-de-leds-1500mm-23w-115-smd2835-ecoline-cabeza-rotatoria-8435402504580.html>
 - Tubo 22w → <http://greenice.com.es/tubos-de-leds-de-vidrio-apertura-300/3731-tubo-de-leds-t8-de-vidrio-1500mm-apertura-300-22w-3000lm-30-000h-8435402535102.html>
- Características necesarias de luminiscencia:
 - Luminiscencia optima en cabinas de pintura. → http://www.centro-zaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R15_A3.pdf

23 de junio de 2016

11 Índices de Imágenes, Graficas y Tablas

Índice de Imágenes

Imagen: 1 Logotipo marca Volkswagen	5
Imagen: 2 Ubicación de Volkswagen Navarra en Polígono Industrial de Landaben, Pamplona (Navarra).	5
Imagen: 3 Diagrama de flujo de los vehículos en Volkswagen Navarra	6
Imagen: 4 Zona de prensas de Volkswagen Navarra	6
Imagen: 5 Zona de chapistería de Volkswagen Navarra	8
Imagen: 6 Zona de pintura de Volkswagen Navarra.....	9
Imagen: 7 Zona de Motores de Volkswagen Navarra.....	10
Imagen: 8 Zona de montaje de Volkswagen Navarra	12
Imagen: 9 Prueba de convergencia de Revisión Final	13
Imagen: 10 Funcionamiento de ventilación en cabina de pintura.....	16
Imagen: 11 Diagrama de bloques básico de un variador.....	19
Imagen: 12 Capacidad térmica del ventilador de un motor en función de la velocidad relativa del mismo.	21
Imagen: 13 Efecto de sobrevelocidad causada por un variador en el par del motor	22
Imagen: 14 Relación de par-velocidad de aparatos con par de carga constante	23
Imagen: 15 Relación de par-velocidad de aparatos con par de carga cuadrático.....	24
Imagen: 16 Relación de par-velocidad de aparatos con potencia constante.....	24
Imagen: 17 Relación de par-velocidad de aparatos con potencia/par constante	25
Imagen: 18 Relación de par-velocidad en función de la demanda de par de arranque	25
Imagen: 19 Comportamiento de frecuencia de salida en función del tiempo: 1 paso.....	26
Imagen: 20 Comportamiento de frecuencia de salida en función del tiempo: 2 pasos	26
Imagen: 21 Capacidad de carga típica de un motor de inducción por jaula estándar en un accionamiento controlado por frecuencias	27
Imagen: 22 Ejemplo de Flujo cruzado	31
Imagen: 23 Ejemplo de Flujo paralelo	32
Imagen: 24 Funcionamiento de Flujo rotativo.....	32
Imagen: 25 Ejemplo de tabla de rendimiento: Intercambiador de calor de placas DVQ de Systemair.....	33
Imagen: 26 Ejemplo de filtros de malla	33
Imagen: 27 Esquema de funcionamiento de batería de agua reversible en funcionamiento como refrigerador.....	34
Imagen: 28 Esquema de baypass que evita que en verano se genere un intercambio de calor entre el aire del exterior más frío que el aire extraído del interior.	34
Imagen: 29 Esquema de módulo d enfriamiento adiabático.....	35
Imagen: 30 esquema sencillo de Intercambiador	85
Imagen: 31 Capacidad de carga típica de un motor de inducción por jaula estándar en un accionamiento controlado por frecuencias 1) son refrigerador y 2) con refrigerador independiente.....	89
Imagen: 32 Relación entre el par y la carga en bombas y ventiladores	92
Imagen: 33 Mejor de los casos → Cuando los vehículos entran con la separación mínima al horno.....	98

23 de junio de 2016

Imagen: 34 Peor de los casos → Cuando los vehículos entran con la separación máxima al horno en la cual aún no se han podido activar los variadores.	99
Imagen: 35 Caso óptimo para la utilización de variadores en el enfriamiento de los automóviles.	99

Índice de Tablas

Tabla 1 Renovaciones de aire según la norma DIN 1946	40
Tabla 2: RITE: Tabla 1.4.1.1 condiciones interiores de diseño	45
Tabla 3 Diferencia de potencia requerida entre el consumo diario con y sin variador (sin incluir el periodo 14:00-15:00)	56
Tabla 4 Diferencia de potencia requerida entre el consumo diario con y sin variador (incluyendo el periodo 14:00-15:00)	56
Tabla 5 Resumen de resultados	62
Tabla 6 Consumo total anual de las líneas en la actualidad	63
Tabla 7 Casos viables, su coste, el beneficio que generan y su amortización	63
Tabla 8 Características de bombas y ventiladores de la Sección de Pintura de Revisión Final ..	64
Tabla 9 Conversión de unidades energéticas según Iberdrola	65
Tabla 10 Conversión de unidades energéticas según Unión Fenosa	66
Tabla 11 Consumos de Gas Natural en función de las temperaturas registradas en 2015 por Meteo Navarra en horario actual, rotando el turno de trabajo y su diferencia	73
Tabla 12 Temperaturas medias de cada mes de 2015 medidas por Meteo Navarra	73
Tabla 13 Precios de empresa “3calor” con garantía de suministro	74
Tabla 14 ecuaciones obtenidas mediante dispersión con datos de la semana 8 a la 17	81
Tabla 15 Temperatura máxima teórica en la que se apagan los quemadores de gas	81
Tabla 16 Datos de motores en los que interesaría añadir variadores.	90
Tabla 17 Resultado de posibilidad de utilización de variadores en los motores escogidos	91
Tabla 18 Horarios de descansos y cambios de turno para L1, L2 y Lsp	93
Tabla 19 Diferencia de potencia requerida entre el consumo diario con y sin variador (sin incluir el periodo 14:00-15:00)	94
Tabla 20 Diferencia de potencia requerida entre el consumo diario con y sin variador (incluyendo el periodo 14:00-15:00)	94
Tabla 21 Diferencia de consumo de gas semanal entre usar o no variador.	95
Tabla 22 Diferencia de consumo de gas diario entre usar o no variador	95
Tabla 23 Ahorro económico anual al usar variadores	96
Tabla 24 N ^o luminarias en cada línea y horas de funcionamiento	103
Tabla 25 N ^o equivalente de lámparas Led por cada lámpara fluorescente	103
Tabla 26 N ^o total de lámparas Led por cada lámpara fluorescente en cada línea	103
Tabla 27 Comparación de consumo anual entre lámparas fluorescentes y Leds	103
Tabla 28 Diferencia de consumo anual entre una lámpara fluorescentes y otra Leds	104
Tabla 29 Amortización en 3 años al cambiar tubos fluorescentes por Leds	104
Tabla 30 Amortización en 3 años al cambiar tubos fluorescentes tras acabarse su vida útil por Leds	105
Tabla 31 Coste por línea de añadir portalámparas	106
Tabla 32 Amortización en 3 años al cambiar tubos fluorescentes tras acabarse su vida útil por Leds e instalar portalámparas	106

23 de junio de 2016

Tabla 33 Líneas en las cuales existe posibilidad de amortización de la inversión	106
--	-----

Índice de Graficas

Gráfica: 1 Rendimiento para Intercambiadores de placas DVQ Systemair Modelos: DVQ-S 100-150, DVQ-H 100-150 y DVQ-C 10-50.....	50
Gráfica: 2 Rendimiento para Intercambiadores de Flujos cruzados Salvador-Scoda S.A.....	50
Gráfica: 3 Comparación entre consumo teórico y real de líneas L1 y L2 en semana 17	68
Gráfica: 4 Diferencia entre consumo teórico y real de líneas L1 y L2 en semana 17	68
Gráfica: 5 Comparación entre el consumo teórico para calentar el aire a 24 C y el consumo medido cuando la humectación estaba apagada.....	69
Gráfica: 6 Relación entre la diferencia de consumo teórico respecto del real Nm ³ /4h y la humedad medida por Meteo Navarra.....	69
Gráfica: 7 Ejemplo de desarrollo de temperaturas a lo largo de la semana.....	71
Gráfica: 8 Ejemplo de datos proporcionados semanalmente por Volkswagen Navarra	75
Gráfica: 9 Consumo de Sport Repair (Nm ³ /4h) +Horno y temperatura registrada (C°).....	77
Gráfica: 10 Consumo de Líneas de grandes y pequeñas reparaciones (Nm ³ /4h) y temperatura registrada (C°).....	77
Gráfica: 11 Consumo y medidas de temperatura únicamente en periodo de funcionamiento de L2.....	78
Gráfica: 12 Datos de dispersión de consumo de metros cúbicos de gas cada cuarto de hora en el turno de tarde y en función de la temperatura.....	78
Gráfica: 13 Datos de dispersión de consumo de metros cúbicos de gas cada cuarto de hora en el turno de noche y en función de la temperatura	78
Gráfica: 14 Grafica 12 con comportamiento teórico de consumo de gas de L2 mediante ecuación obtenida por dispersión.....	79
Gráfica: 15 Consumo de L1 teórico	79
Gráfica: 16 Consumo teórico del periodo de mañana	80
Gráfica: 17 Comprobación de similitud entre ecuación hallada y datos medidos iniciales	80
Gráfica: 18 Comparación entre consumo medido con consumo teórico para 21,5 C para semana 17	82
Gráfica: 19 Comparación entre consumo medido con consumo teórico para 24 C para semana 17	83
Gráfica: 20 Comparación entre consumo medido con consumo teórico para 24 C para semana 8	84

23 de junio de 2016

12 Anexos

Existen algunas tablas de documentos demasiado extensas para ponerlas en el apartado anexos, por ello se adjuntan en formato “.xls”:

12.1 Datos básicos.

- Datos de consumo de gas natural y de Temperatura exterior medidos Semana 8-20:
Datos Base.xls→Hoja: Consumos y Temp Medidos
- Temperaturas medidas por Meteo Navarra en 2015:
Datos Base.xls→Hoja: Temp Meteo
- Humedad relativa medida por Meteo Navarra en semanas 13; 15-18:
Datos Base.xls→ Hoja: HR% Meteo
- Lista de motores
Lista de motores proyecto.xls→Hoja: Pintura
- Tablas de resultados finales
Resumen_Proyecto.xls→
 - Hoja: Resumen resultados.
 - Hoja: Consumo actual anual de líneas.
 - Hoja: Amortización.

12.2 Funcionamiento de quemadores de gas/ventiladores en horarios o momentos en los que no hay trabajadores en los puestos: Ubicado en L1.

Datos empleados:

- Consumo de Gas original L1 2015 (6:00-15:00) en función de temperatura exterior 2015 de Meteo:
→ Consumo de Gas original L1 2015 en función de temperatura Meteo.xls→
Hoja: Consumo L1

12.3 Humidificación del aire

Datos empleados:

- HR% semana 13
- HR% semana 17:
Datos base.xls→ Hoja: HR% Meteo

23 de junio de 2016

12.4 Desplazamiento de horario de trabajo Mañana→ Tarde

Datos empleados:

- Temperaturas medidas por Meteo Navarra en 2015:
Desplazamiento horarios.xls→Hojas: L1, L1', Lsp, Horno

12.5 Intercambiadores de calor

Datos empleados:

- Desplazamiento de horarios:
Desplazamiento horarios.xls→Hoja: L1, Lsp, Horno
- Media semanal de consumo de líneas L1 y Horno:
Media semanal consumo Líneas → Hojas: Consumo anual Gas/Kw
- Ecuaciones de dispersión:
Ecuaciones de dispersión.xls→Hoja: Ecuaciones semanales.

12.6 Utilización de Variadores para reducción de consumo en periodos de Descanso/trabajo

Datos empleados:

- Comprobación de calentamiento de variadores:
Lista de motores proyecto.xls→ Hoja: Calculo de calentamiento
- Reducción de consumo de gas natural mediante variadores:
Ahorro de gas con variador→ Hojas: L1, L2, Lsp, Resumen

12.7 Reducción de la potencia en la refrigeración de salida del horno.

Datos empleados:

- Diferencia entre consumo actual y reducido a 5,7h:
Optimización de vehículos en L1+H.xls
- Media semanal de consumo de líneas L1 y Horno:
Media semanal consumo Líneas → Hojas: Consumo anual Gas/Kw